



FORMAÇÃO CONTINUADA

Mecânica

Veículos Pesados

Motor de Combustão Interna - Ciclo Diesel

MECÂNICA DE VEÍCULOS PESADOS

MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO DIESEL

2003

© 2003. SENAI-SP

Motorde Combustão Interna - Ciclo Diesel

Publicação organizada e editorada pela Escola SENAI "Conde José Vicente de Azevedo"

Coordenação geral	Luiz Carlos Emanuelli
Coordenador do projeto	José Antonio Messas
Planejamento e organização do conteúdo	Valdemar Lima de Jesus Filho
Editoração	Teresa Cristina Maino de Azevedo

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Escola SENAI "Conde José Vicente de Azevedo"
Rua Moreira de Godói, 226 - Ipiranga - São Paulo-SP - CEP. 04266-060

Telefone (0xx11) 6166-1988

Telefax (0xx11) 6160-0219

E-mail senaiautomobilistica@sp.senai.br

Home page <http://www.sp.senai.br/automobilistica>

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	5
COMPONENTES DE UM MOTOR DIESEL	7
• Disposição dos cilindros	7
• Bloco de cilindros	7
• Cabeçote	8
• Êmbolos	8
• Anéis	9
• Biela	9
• Árvore de manivelas	9
• Distribuição por válvulas	10
CONCEITOS SOBRE DIMENSÕES E RENDIMENTO	11
• Diâmetro de cilindros	11
• Curso do êmbolo	11
• Cilindrada	11
• Cilindrada total	11
• Relação de compressão	12
• Potência	12
• Torque	13
FUNCIONAMENTO DO MOTOR DIESEL	15
• Motor quatro tempos	15
• Pré-câmara (injeção indireta)	15
• Pré-câmara	16
• Injeção direta	16
• Pré-aquecimento do ar de admissão	17
• Sistema auxiliar de partida	17
• Emissões	17

EQUIPAMENTO DE INJEÇÃO PARA MOTORES DIESEL	18
• Bomba alimentadora	18
• Filtro de combustível	18
• Bomba injetora	18
• Injetor	18
SISTEMA DE SUPER ALIMENTAÇÃO DE AR	20
• <i>Intercooler/Turbocooler/Aftercooler/Chargercooler</i> (intercambiador de calor)	20
SISTEMA DE ARREFECIMENTO (CONTROLE DE TEMPERATURA)	22
SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO	24
• Componentes do sistema de lubrificação	25
GERENCIAMENTO ELETRÔNICO	26
• Características básicas	26
• Conexão CAN	27
• Sensores	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

APRESENTAÇÃO

Neste curso serão apresentadas as características construtivas e o funcionamento dos sistemas dos motores diesel.

Por ser uma literatura estritamente de conceitos básicos, evitou-se a inclusão de dados técnicos, pois fogem da finalidade deste curso. Tão importante quanto operar, manter e reparar, conhecer os conceitos básicos é de primordial importância pois implica também no aumento da vida útil do equipamento.

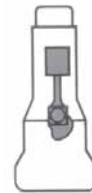
COMPONENTES DE UM MOTOR DIESEL

O motor diesel pode ser definido como uma máquina capaz de transformar energia térmica (energia do calor) em trabalho mecânico. Esse motor possui vários componentes que veremos a seguir.

DISPOSIÇÃO DOS CILINDROS

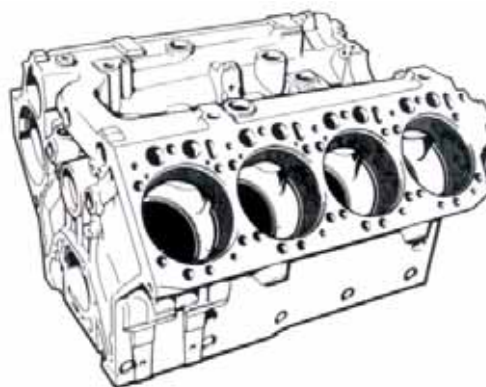
De acordo com a disposição dos cilindros, os motores podem ser:

- **Motores em linha:** todos os cilindros estão instalados numa só linha.
- **Motor em V:** os cilindros estão distribuídos em duas linhas, de forma que os cilindros opostos conservam um determinado ângulo entre si.



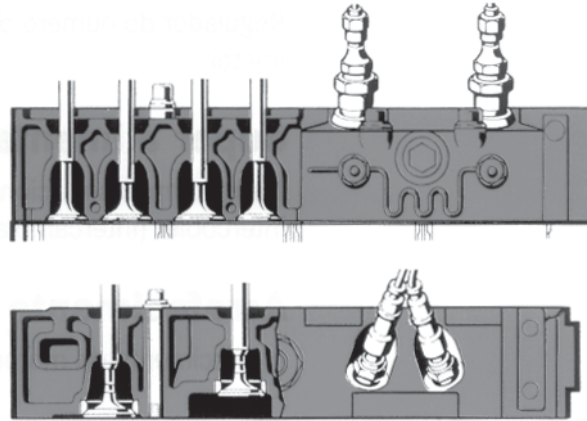
BLOCO DE CILINDROS

O bloco de cilindros ou bloco do motor é o núcleo do motor. Nele estão localizados os orifícios cilíndricos por onde deslizam os êmbolos e os canais pelos quais circula o líquido de arrefecimento. Como material para a fabricação do bloco de cilindros, normalmente, são utilizadas ligas ferrosas e de alumínio.



CABEÇOTE

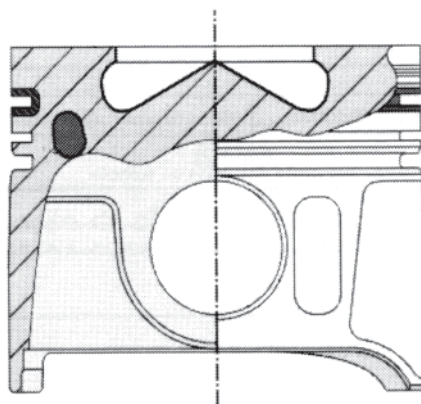
O cabeçote fecha os cilindros na parte superior. No cabeçote estão localizados os condutos de admissão e de escapamento com suas respectivas válvulas, bem como os bicos injetores.



O cabeçote é submetido a enormes esforços térmicos, razão pela qual é usada para a sua elaboração uma liga ferrosa leve de boa condutibilidade térmica muito resistente a altas temperaturas.

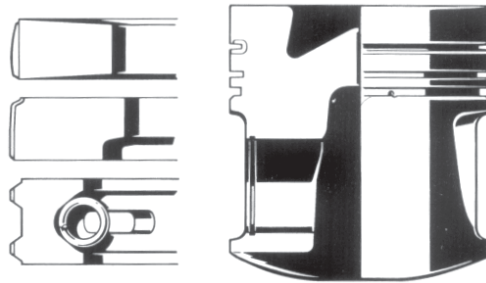
ÊMBOLOS

O êmbolo, ou pistão, é uma peça móvel que fecha a câmara de combustão com relação ao cárter. O êmbolo transmite a força, resultante da combustão, para a árvore de manivelas através da biela. Geralmente, os êmbolos são fabricados com uma liga leve.



ANÉIS

Os anéis evitam o vazamento dos gases de combustão para o cárter e também a entrada de óleo de lubrificação da árvore de manivelas na câmara de combustão. Diferenciam-se entre anéis de compressão e anéis raspadores de óleo.



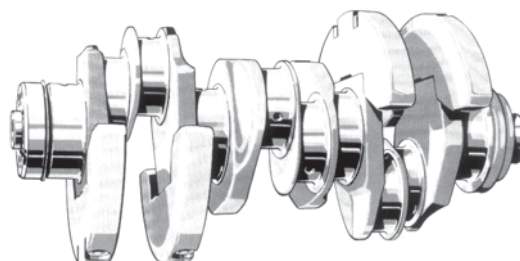
BIELA

A biela é o componente que acopla o êmbolo com a árvore de manivelas. Transmite à árvore de manivelas a força exercida pelos gases de combustão sobre a cabeça do êmbolo.



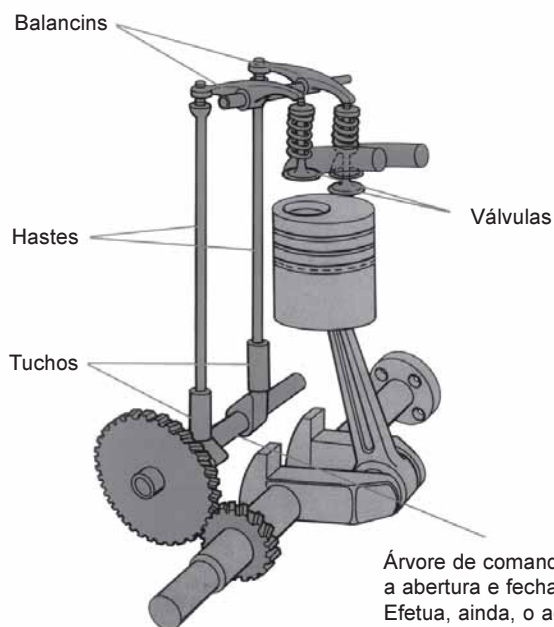
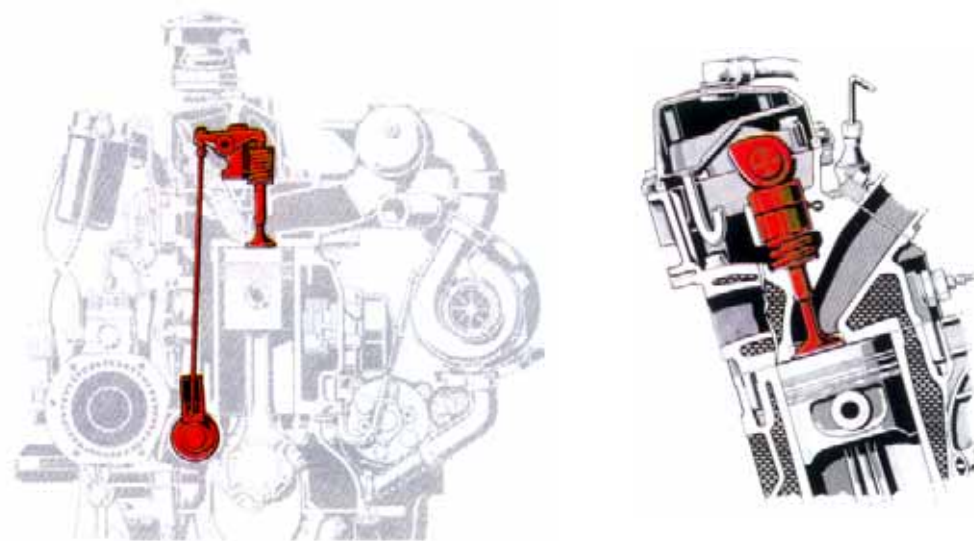
ÁRVORE DE MANIVELAS

Na árvore de manivelas a força dos êmbolos é convertida em torque. Assim, o movimento linear dos êmbolos é transformado em movimento de rotação.

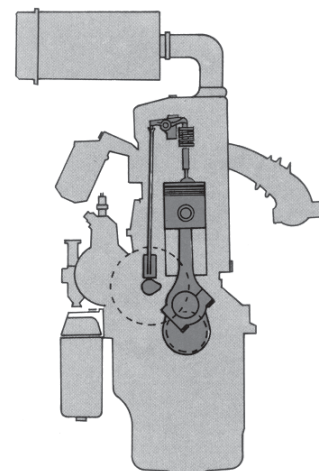


DISTRIBUIÇÃO POR VÁLVULAS

Existem dois sistemas na distribuição por válvulas: por meio do eixo de comando de válvulas no bloco e por meio do eixo de comando de válvulas no cabeçote. Nos motores de veículos comerciais pesados, normalmente são utilizados os eixos de comando de válvulas no bloco do motor. O eixo de comando de válvulas no cabeçote também é utilizado em motores diesel.



Árvore de comando - comanda a abertura e fechamento das válvulas. Efetua, ainda, o acionamento de outros órgãos do motor, tais como: bomba de óleo, bomba injetora e compressor de ar.



CONCEITOS SOBRE DIMENSÕES E RENDIMENTO

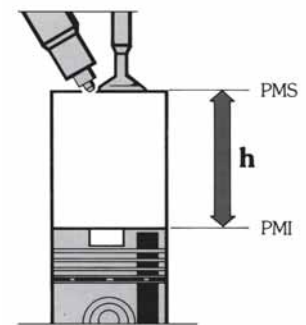
DIÂMETRO DE CILINDROS

O diâmetro dos cilindros é medido em mm.



CURSO DO ÊMBOLO

O curso é a distância, expressa em milímetros, que o êmbolo percorre desde o ponto morto inferior (PMI), até o ponto morto superior (PMS).



CILINDRADA

É o volume deslocado pelo cilindro entre o PMI e o PMS do curso do êmbolo.



CILINDRADA TOTAL

A cilindrada total corresponde ao valor obtido multiplicando-se o valor da cilindrada de um dos cilindros pelo número total de cilindros no motor.

RELAÇÃO DE COMPRESSÃO (ϵ)

É a relação entre:

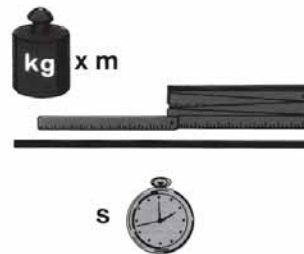
$$\epsilon = \frac{\text{cilindrada} + \text{câmara de compressão}}{\text{câmara de compressão}}$$



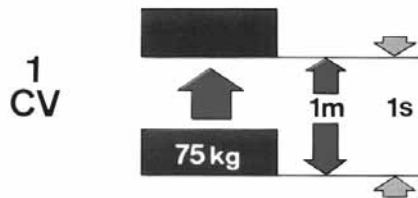
POTÊNCIA

É a medida do Trabalho realizado numa unidade de tempo. Como Trabalho é o resultado de uma força que desloca seu ponto de aplicação, temos que:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Força} \times \text{Distância}}{\text{Tempo}}$$



A unidade mais comum para expressar a potência de uma máquina é o cavalo-vapor (cv).



A potência obtida pelo método de medição DIN é geralmente expressa em CV. 1cv corresponde à força necessária para elevar, em 1 segundo (s), 75 kilogramas-força (kgf) à altura de 1 metro (m).

$$\text{cv} = \frac{75\text{kgf} \times 1\text{m}}{1\text{s}}$$

POTÊNCIA EM WATTS (SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES)

Watt é a potência desenvolvida quando se desloca o ponto de aplicação de uma força constante e igual a 1 Newton (N), numa distância de 1 metro (M), em 1 segundo (s).

$$W = \frac{1N \times 1m}{1s}$$

A potência de um motor é expressa em Kilowatt (KW), que equivale a 1000 Watts (W).

$$kW = 1,35869 \text{ cv}$$

$$1\text{cv} = 0,736 \text{ kW}$$

Para transformar KW em CV ou CV em KW, usam-se os fatores acima.

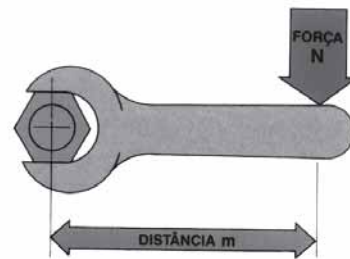
Exemplo do motor que tem 100 KW:

$$100 \text{ KW} \times 1,35869 = 135,860 \text{ CV (arredondando 136 CV)}$$

TORQUE

É um esforço de torção que é determinado pela força aplicada e a distância da aplicação (alavanca), ou seja:

$$\text{Torque} = \text{Força} \times \text{Distância}$$



Exemplo:

Se for aplicada uma força de 50 Newtons (N) em uma distância de 1 metro (m), teremos então:

$$\text{Torque} = 50N \times 1m = 50Nm$$

Em algumas publicações ainda se utiliza o mkgf para expressar grandezas de torque, sendo:

$$1\text{mkgf} = 9,81 \text{ Nm}$$

APLICANDO TORQUE AO MOTOR

A pressão exercida sobre o êmbolo é uma força que atua, através da biela, sobre o braço de alavanca da manivela – que é, no caso, o braço de alavanca da força e corresponde a distância “R” entre o centro do mancal da biela e o centro da árvore de manivelas.

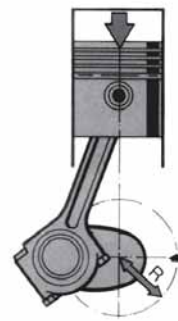
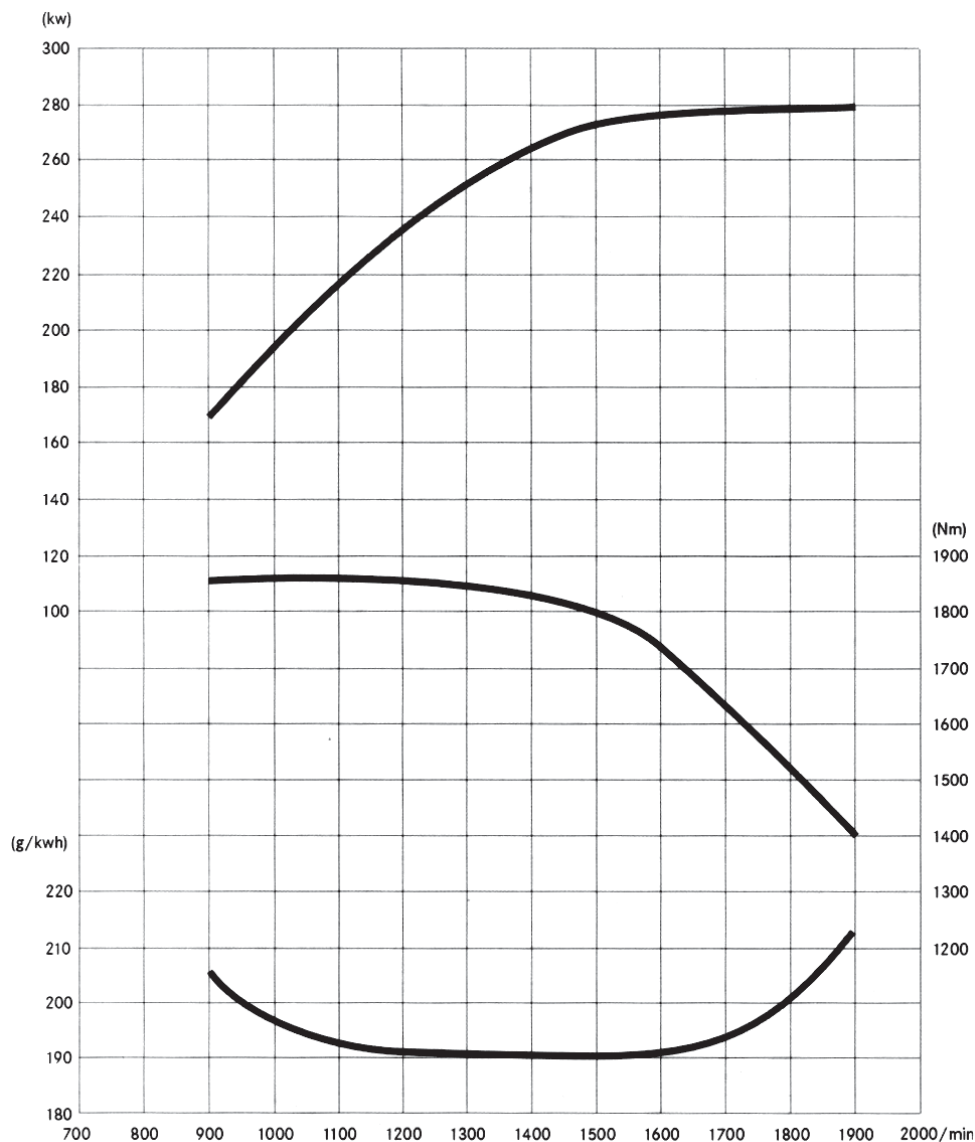


DIAGRAMA DE POTÊNCIA, TORQUE E CONSUMO

No diagrama abaixo, podemos verificar que a potência máxima é obtida na rotação máxima do motor, porém, o momento de força máximo apresenta-se num regime de rotação médio.

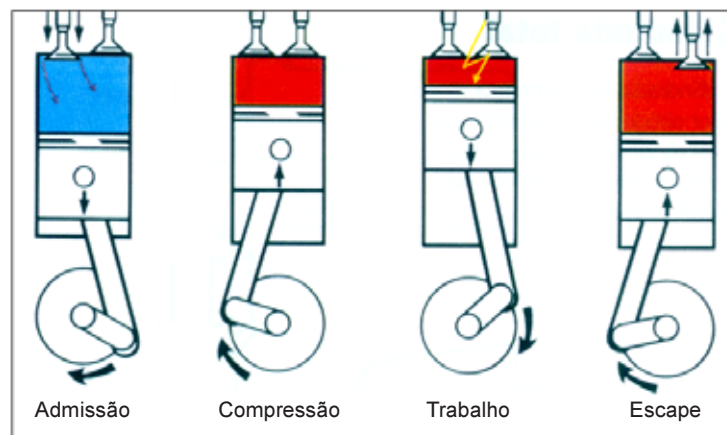
Nos motores elásticos, o momento de força máximo se manifesta num regime de rotação relativamente baixo e se conserva durante uma gama de rotações de grande amplitude. Evitam-se, assim, freqüentes mudanças de marcha.



FUNCIONAMENTO DO MOTOR DIESEL

MOTOR DE QUATRO TEMPOS

Os modelos atuais de motores diesel, operam de acordo com um ciclo de quatro tempos. Os quatro tempos são: admissão, compressão, trabalho e escape.



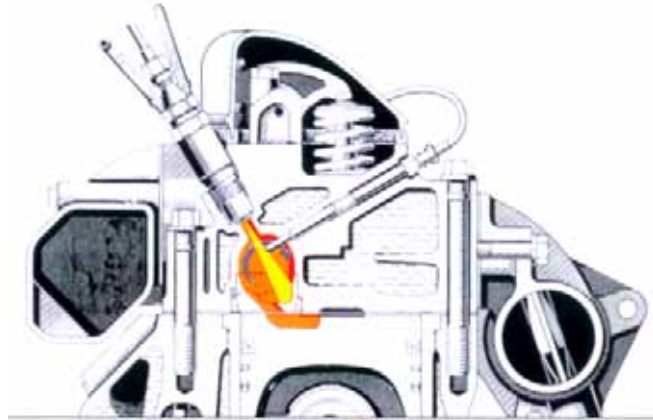
PRÉ-CÂMARA (INJEÇÃO INDIRETA)

O combustível é injetado na pré-câmara localizada no cabeçote e unida à câmara de combustão principal através de vários orifícios de pequeno diâmetro. A combustão tem início na pré-câmara ou antecâmara.



PRÉ-CÂMARA

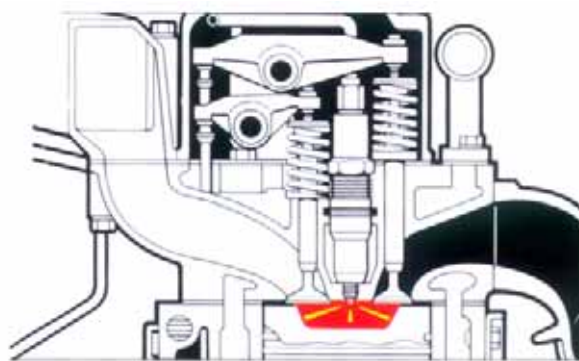
Nos motores diesel com pré-câmara, as câmaras adicionais têm a forma de uma esfera oca conectada com a câmara de combustão.



INJEÇÃO DIRETA

O combustível é injetado diretamente na cavidade da cabeça do êmbolo, ou seja, na câmara de compressão.

Os motores de injeção direta caracterizam-se por um elevado rendimento energético e são os mais utilizados atualmente.



PRÉ-AQUECIMENTO DO AR DE ADMISSÃO

O dispositivo de pré-aquecimento está localizado no coletor de admissão do motor, e aquece o ar frio aspirado da atmosfera.



SISTEMA AUXILIAR DE PARTIDA

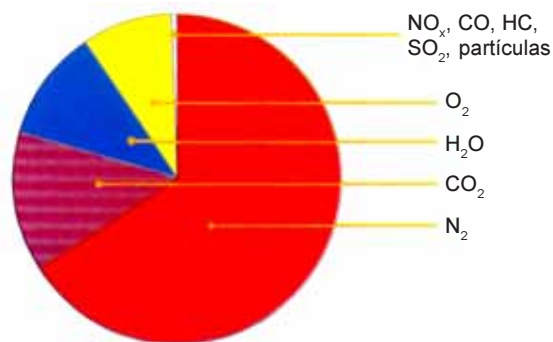
Startpilot é o nome dado ao sistema auxiliar de partida onde é misturado um agente facilmente inflamável com o ar frio aspirado da atmosfera. Este sistema é utilizado somente nos motores de injeção direta.

Não se pode incorporar num mesmo motor o *Startpilot* e um sistema de pré-aquecimento do ar de admissão.



EMISSÕES

Todos os motores de combustão produzem emissões. Juntamente com os componentes nocivos gasosos, os motores Diesel expõem também fuligem e outras partículas sólidas. Na maior parte dos países existem normas que definem a concentração máxima de determinados componentes nocivos nos gases de escape.



De maneira especial, é importante a diminuição de óxidos de nitrogênio, que está relacionada com a temperatura de combustão.

EQUIPAMENTO DE INJEÇÃO PARA MOTORES DIESEL

BOMBA ALIMENTADORA

Através de comando mecânico ou manual, retira o combustível do tanque e envia-o sob pressão a bomba injetora.

FILTRO DE COMBUSTÍVEL

Equipado com dois elementos filtrante, de feltro e papel, retém as micro-partículas contidas no combustível.

BOMBA INJETORA

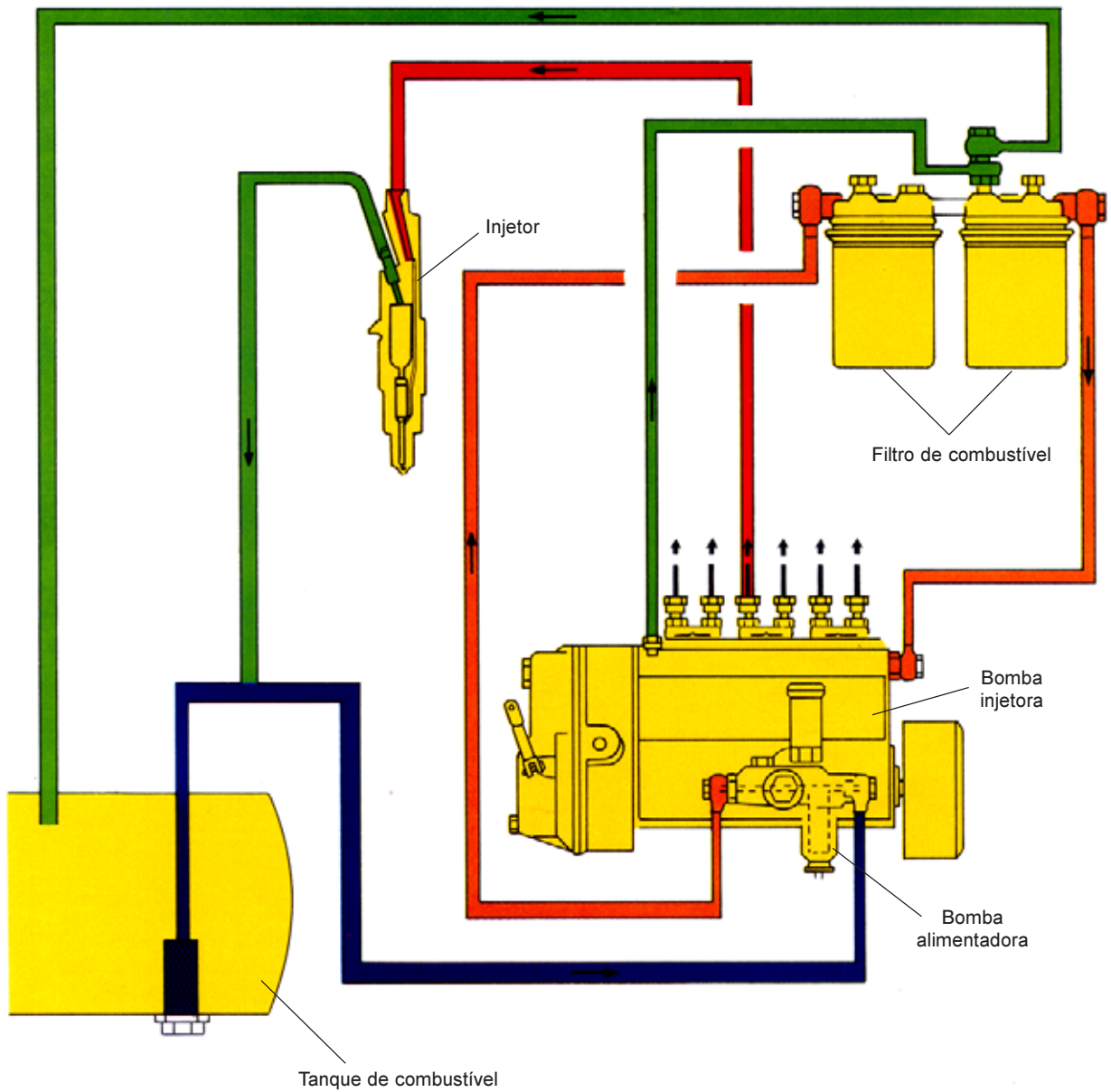
Efetua a distribuição e dosagem do combustível nos cilindros, conforme necessidade do motor.

INJETOR

O bico injetor pulveriza o combustível no interior da câmara de combustão. Início de funcionamento: a bomba injetora gera pressão na tubulação de combustível. Após ser atingida uma pressão determinada, ergue-se a agulha de assentamento e fica livre o orifício de injeção.

Uma potente mola mantém a contrapressão (pressão de fechamento), regulando-se a pré-tensão. Depois da pressão de bombeamento ter se reduzido novamente abaixo de um determinado valor, a mola força a agulha a retornar para a sua posição inicial e assim finaliza a injeção.

Conforme o procedimento de injeção escolhido, são aplicados injetores de formas especiais para a distribuição do jato de combustível no interior da câmara de combustão.



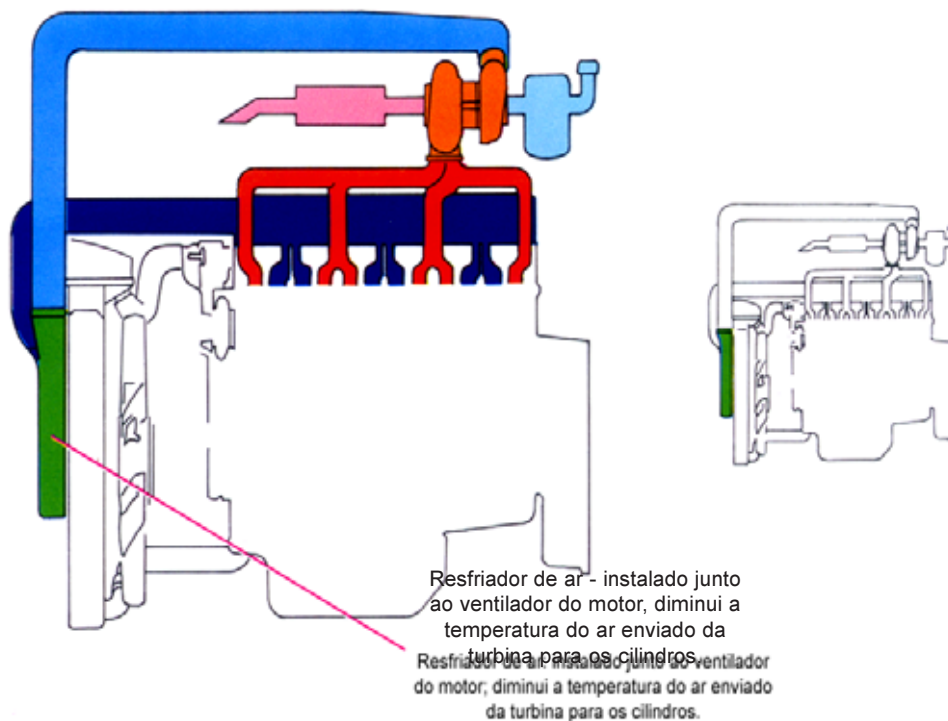
SISTEMA DE SUPER ALIMENTAÇÃO DE AR

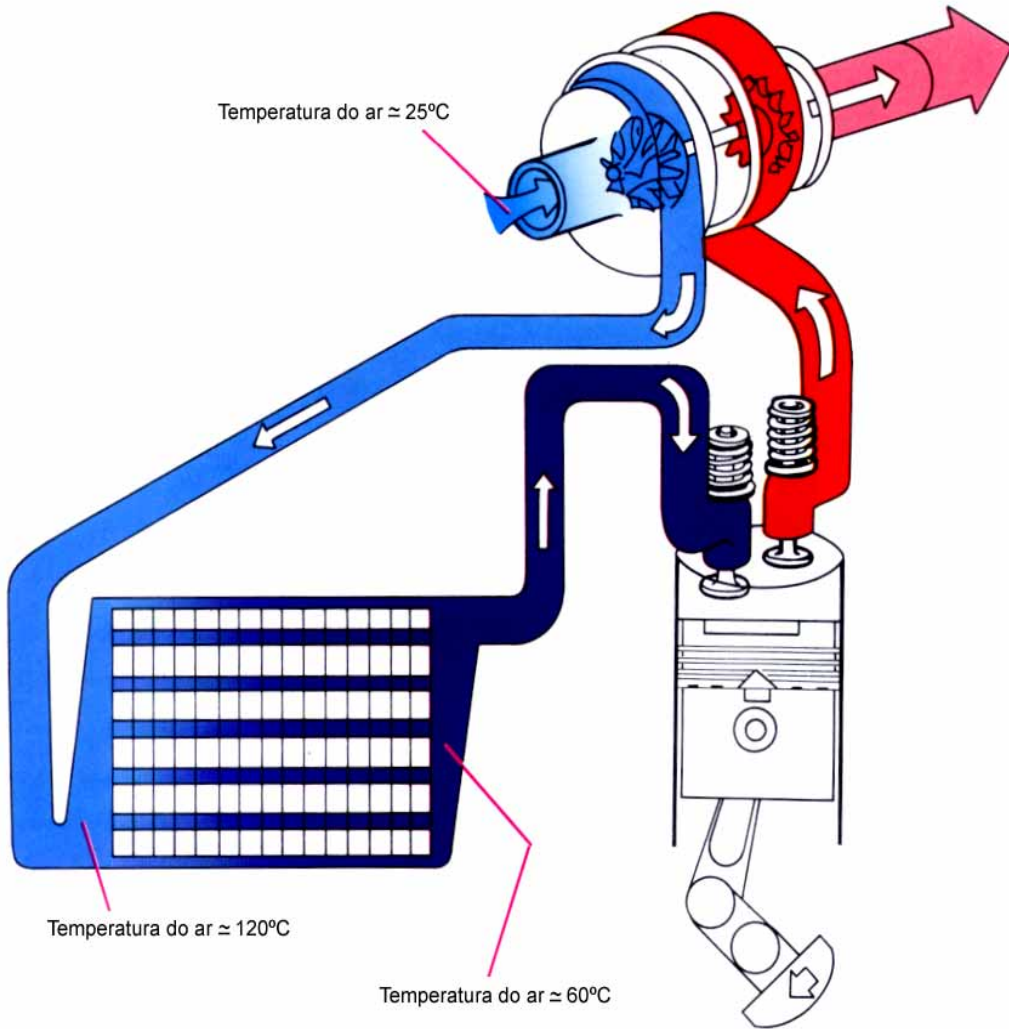
INTERCOOLER/TURBOCOOLER/AFTERCOOLER/CHARGERCOOLER (INTERCAMBIADOR DE CALOR)

O *intercooler* refrigera o ar na saída do turbocompressor, antes do mesmo entrar nos cilindros.

O turbocompressor comprime o ar de admissão e ao mesmo tempo o aquece. O ar quente se expande com relação ao ar frio. O rendimento de abastecimento dos cilindros será tanto maior quanto mais frio estiver o ar de admissão.

O resfriamento do ar na saída do turbocompressor, influi também sobre as emissões nocivas do motor.





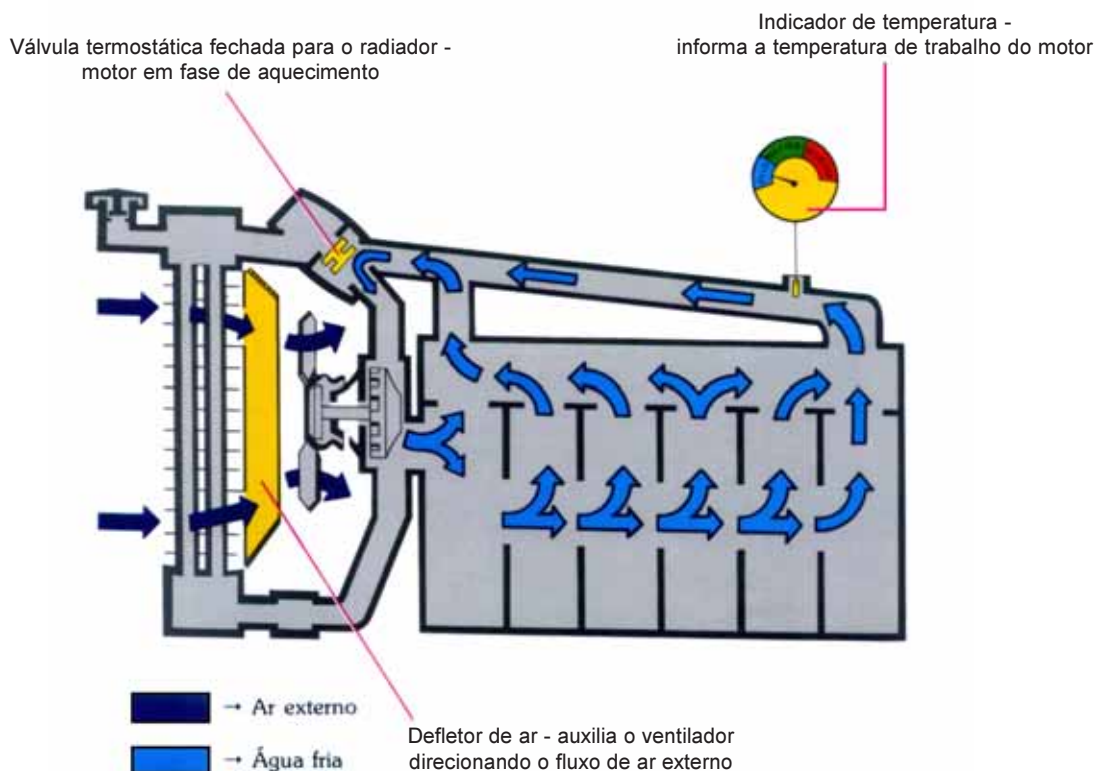
SISTEMA DE ARREFECIMENTO (CONTROLE DE TEMPERATURA)

O sistema de arrefecimento tem como função garantir que a temperatura de serviço no interior do motor nunca ultrapasse um valor superior pré-determinado, a fim de evitar o superaquecimento das peças e dos lubrificantes.

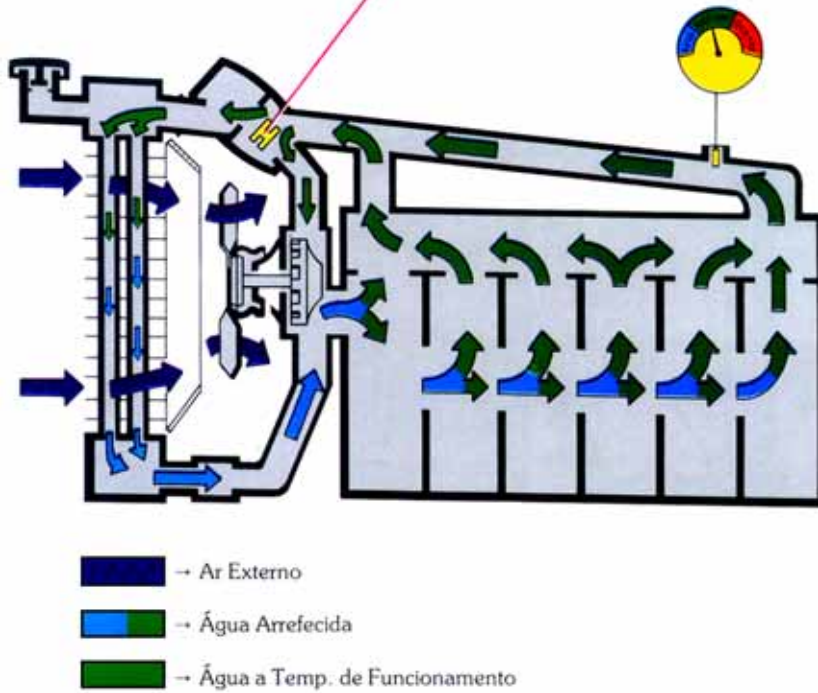
Existem dois tipos muito comuns de sistema de arrefecimento: o “arrefecimento a ar” e o “arrefecimento a água”. Atualmente dá-se preferência ao arrefecimento a água.

Para tanto, bombeia-se um agente refrigerador líquido através do circuito de arrefecimento do bloco do motor.

Existem ainda alguns motores com arrefecimento direto ou arrefecimento forçado a ar. Nestes motores, o calor é expelido diretamente do motor através do ar que o circunda.

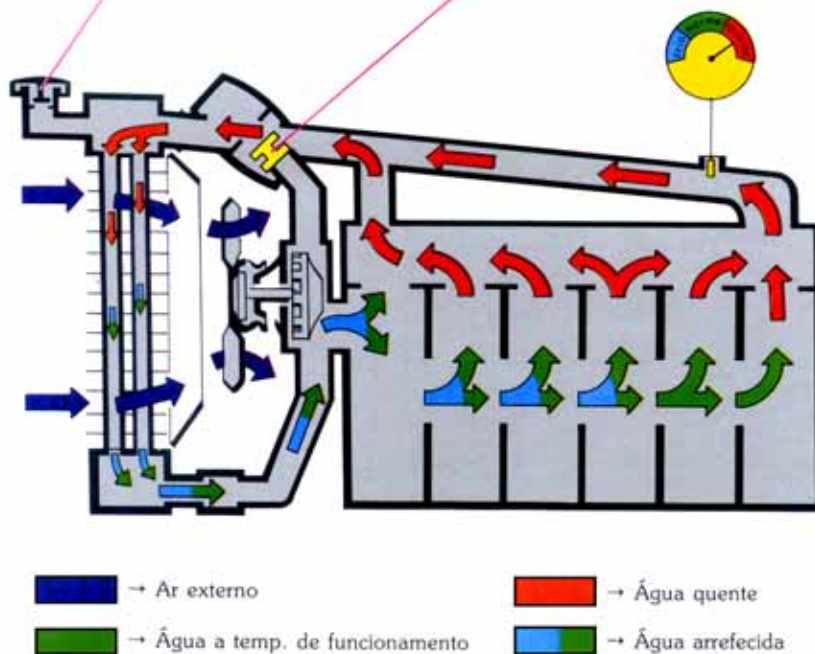


Válvula termostática parcialmente aberta para o radiador - motor em condições normais de operação



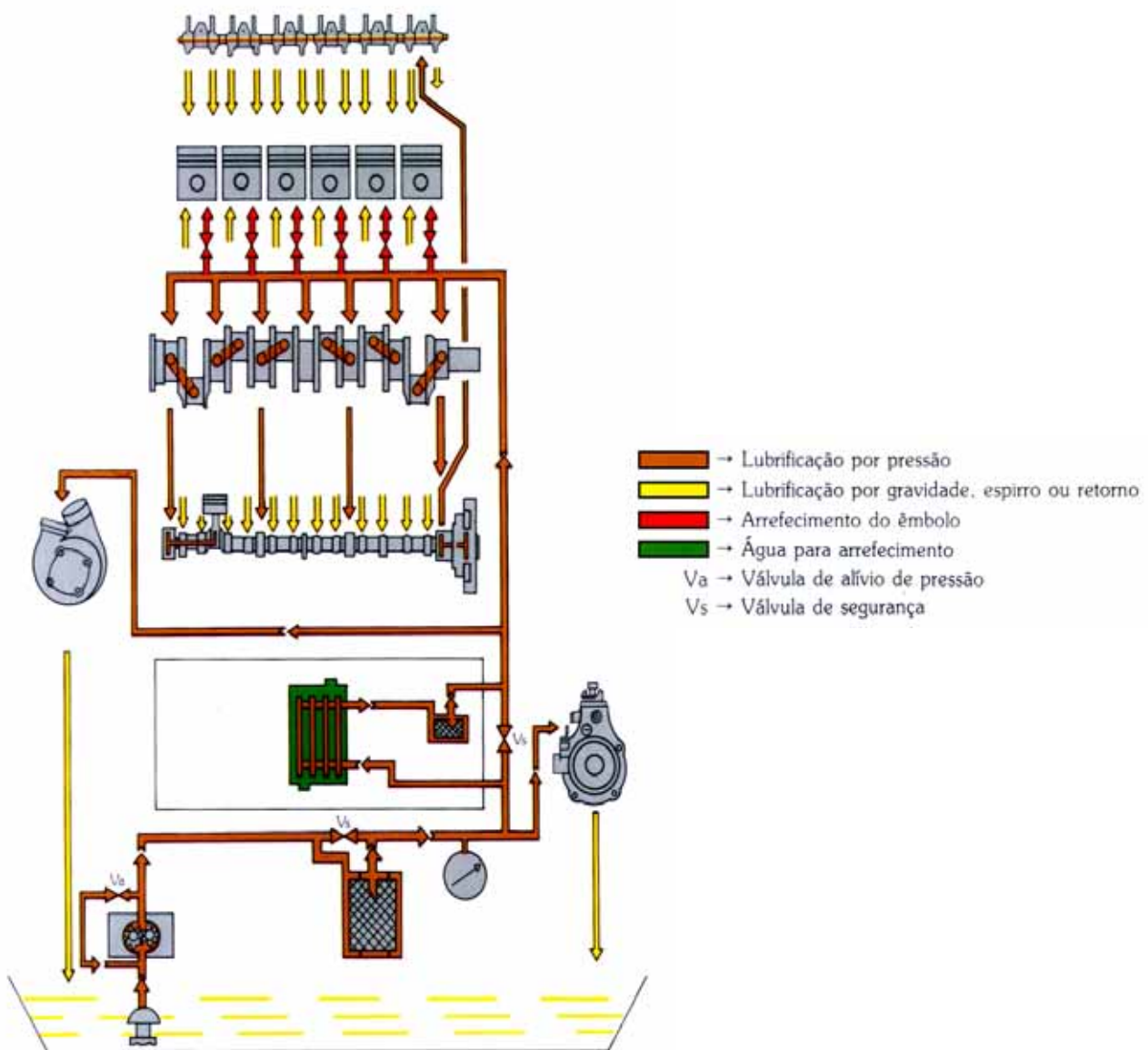
Tampa do radiador - equipada com válvulas, controla a pressão e depressão no sistema de arrefecimento

Válvula termostática totalmente aberta para o radiador - motor em condições severas de operação



SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

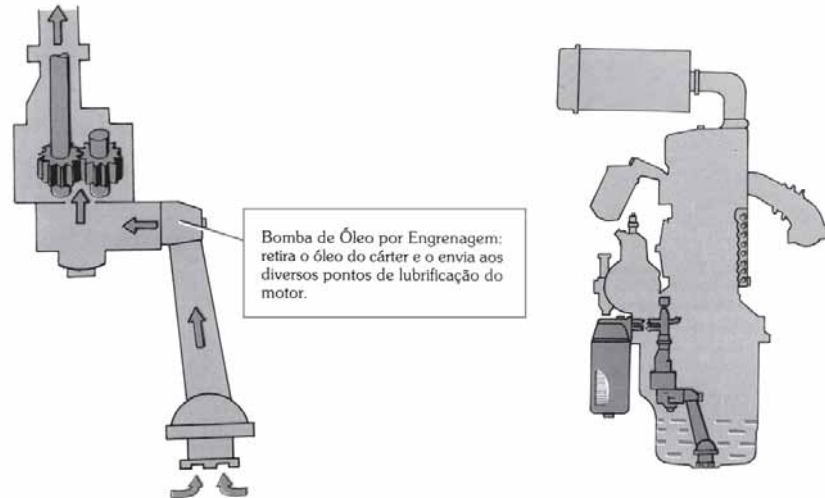
O atrito entre as partes móveis do motor provoca desgaste e ao mesmo tempo gera calor. O sistema de lubrificação interpõe uma película de óleo lubrificante entre as partes metálicas, reduzindo os efeitos causados pelo atrito.



COMPONENTES DO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

BOMBA DE ÓLEO POR ENGRENAGEM

Retira o óleo do cárter e o envia aos diversos pontos de lubrificação do motor.

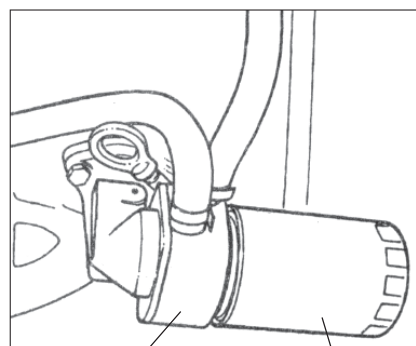


FILTRO DE ÓLEO

Equipado com elemento filtrante, do tipo cartucho, de papel especial, retém as impurezas contidas no óleo.

RADIADOR DE ÓLEO

Mantém o óleo lubrificante na temperatura adequada ao funcionamento do motor.



Radiador de óleo

Filtro de óleo

GERENCIAMENTO ELETRÔNICO

Os motores com gerenciamento eletrônico alcançam níveis menores de emissão de poluentes, atendendo às leis de preservação ambiental nacionais e internacionais e possuem uma mecânica mais simples, aliando os benefícios da nova tecnologia de controle de injeção, com redução de custos.

O sistema de gerenciamento eletrônico do motor é composto por diversos sensores, módulos eletrônicos, atuadores e indicadores, e é capaz de determinar com precisão o melhor momento para início e duração da injeção de combustível, efetuando as correções necessárias para cada regime de funcionamento do motor.

A evolução não se restringe ao uso da eletrônica para o gerenciamento do motor, o conjunto mecânico também é o resultado da aplicação de novas tecnologias desde novos processos de fabricação dos componentes, passando pelas características construtivas do motor até nova metodologia utilizada para manutenção.

As principais vantagens desses motores são: o baixo nível de emissão de poluentes, redução do consumo de combustível, aumento da durabilidade do motor, etc. Programas estabelecidos para proteção evitam a quebra precoce do motor, reduzindo a frequência de manutenção. E o sistema de diagnóstico aliado à mão-de-obra especializada facilitam a localização de possíveis falhas reduzindo o tempo gasto em reparos.

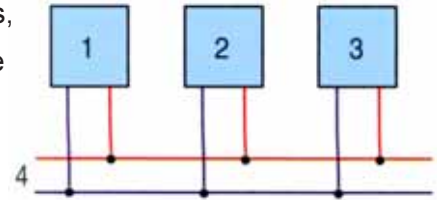
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Os motores com gerenciamento eletrônico funcionam com um sistema de alimentação de combustível controlado eletronicamente.

Um dos mecanismos usados entre outros, é o sistema BOMBA - TUBO - INJETOR, e consiste numa unidade injetora por cilindro, interligada ao bico injetor através de uma pequena tubulação de alta pressão. Os elementos alojados na unidade injetora – injetor, câmaras de pressão e descarga de combustível, válvula de controle de vazão e eletroímã de acionamento – são responsáveis pelo aumento da pressão e controle do volume de injeção de combustível, que é conduzido ao bico e distribuído, de forma atomizada, na câmara de combustão.

CONEXÃO CAN

As unidades do sistema de gerenciamento eletrônico trabalham interligadas por um cabo CAN, o que proporciona redução do número de sensores, cabos elétricos e conexões, aumentando a confiabilidade e facilitando a manutenção do sistema.



Suas funções são:

- receber os sinais enviados pelos sensores localizados no motor e no veículo;
- identificar o regime de operação;
- determinar a necessidade instantânea de combustível;
- controlar o tempo de injeção nas unidades injetoras.

SENSORES

Os motores com gerenciamento eletrônico estão equipados com vários sensores, cujo objetivo é o de informar aos módulos de gerenciamento o regime instantâneo de operação.

Os principais sensores que compõem o sistema são:

- sensor de pressão e de temperatura do ar de sobrealimentação;
- sensor de pressão atmosférica;
- sensor de temperatura do combustível;
- sensor de posição do pedal acelerador;
- sensor de temperatura do líquido de arrefecimento;
- sensor de posição do ângulo da árvore de manivelas;
- sensor de posição do ângulo da árvore comando de válvulas.



Sensor de pressão e temperatura do ar de admissão



Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAIMLER CHRYSLER DO BRASIL LTDA. *Tecnologia do Produto*. 1. ed. Campinas, SP: Daimler Chrysler, 2001.

MERCEDES-BENZ DO BRASIL S.A. *Conceitos Básicos – Motores*. 1993.

ANEXOS

Formulários de Operações de Manutenção

VIRABREQUIM

Folga Axial <small>(Motor montado)</small>	<input style="width: 90%;" type="text"/>	Empenamento	<input style="width: 90%;" type="text"/>				
Munhões							
	1	2	3	4	5	6	7
1ª							
2ª							
3ª							
4ª							
Moentes							
	1	2	3	4	5	6	
1ª							
2ª							
3ª							
4ª							

BLOCO

Mancais Principais (com Bronzinas)							
	1	2	3	4	5	6	7
1ª							
2ª							
3ª							
Pré-Tensão das Bronzinas							
Mancais Principais (sem Bronzinas)							
1ª							
2ª							
3ª							
Alojamentos do Comando							
Alojamentos dos Tuchos							
Admissão							
Escape							

CABEÇOTES

Distância das Válvulas à Face do Cabeçote

1	2	3	4	5	6
Admissão					
Escape					

Folga das Válvulas

Admissão					
Escape					

Folga Axial dos Balancins

Admissão				
Escape				

Diâmetro do Eixo dos Balancins

Admissão				
Escape				

Diâmetro Interno dos Balancins

Admissão				
Escape				

Guia das Válvulas

1	2	3	4	5	6
Admissão					
Escape					

Sede das Válvulas - Largura do Assento

Admissão				
Escape				

Válvulas - Diâmetro da Haste (Admissão)

1ª				
2ª				
3ª				

Válvulas - Diâmetro da Haste (Escape)

1ª				
2ª				
3ª				

CAMISAS

Saliência das Camisas						
	1	2	3	4	5	6

Diâmetro das Camisas						
	1	2	3	4	5	6
1ª						
2ª						
3ª						
4ª						

PISTÕES

Diâmetro do Pino do Pistão						
	1	2	3	4	5	6

Folga dos Anéis						
1ª						
2ª						
3ª						

Folga entre Pontas dos Anéis						
1ª						
2ª						
3ª						

FIESP
SESI
SENAI
IRS

Sistema
FIESP