MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA III
SISTEMAS COMPLEMENTARES

LEB0332 – Mecânica e Máquinas Motoras

Prof. Leandro M. Gimenez

2019

1

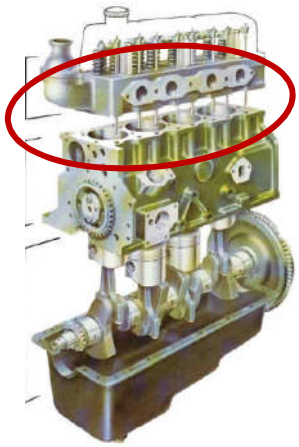
Sistemas complementares

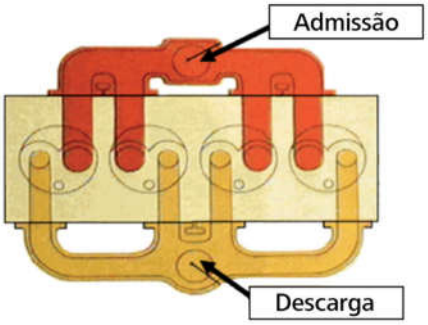
- Componentes auxiliares e indispensáveis, proporcionam as condições para que o motor transforme energia de modo eficiente
  - Sistema de válvulas
  - Sistema de alimentação
    - Sistema de alimentação de combustível
    - Sistema de alimentação de ar
  - Sistema elétrico
  - Sistema de arrefecimento
  - Sistema de lubrificação

2

Sistema de Válvulas

Controla o fluxo de gases de entrada e saída do motor, entre a câmara do cilindro e o exterior





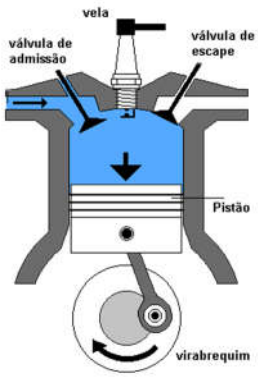
3

Sistemas de válvulas - Constituição

- O motor de quatro tempos apresenta 2 tipos de válvulas:
  - De admissão – entrada de ar+combustível (Otto) ou ar (Diesel)
  - De escape – saída dos gases queimados para o coletor de escape.

4

Sistema de Válvulas





No motor de 4 tempos as válvulas abrem para dentro da câmara de combustão permitindo as trocas

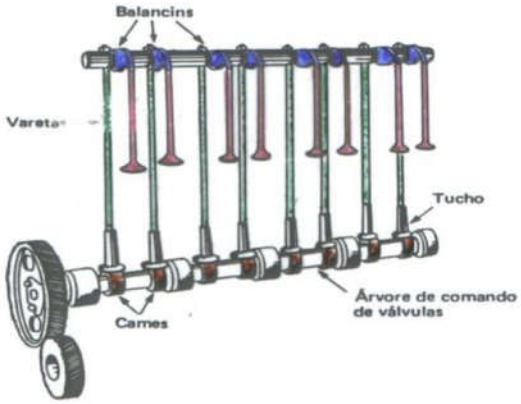
A abertura ocorre através de um mecanismo de comando e o fechamento por ação da mola de válvula

5

Sistema de Válvulas

O mecanismo de comando é constituído por uma árvore de comando de válvulas que contém ressaltos ou cames, usualmente 2 para cada cilindro do motor

O movimento da árvore de comando faz com que os ressaltos levantem os tuchos que transmitem o movimento às válvulas



6

Árvore de Comando de Válvulas



- Pode estar localizado no bloco ou cabeçote do motor
- Apresenta ressaltos que transformam movimento de rotação em movimento linear alternado das válvulas
- Fabricados em aço forjado ou ferro fundido



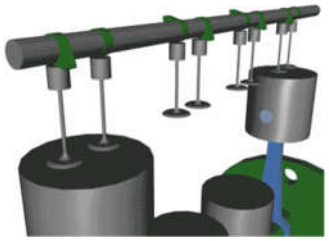
Engrenagem do eixo de cames

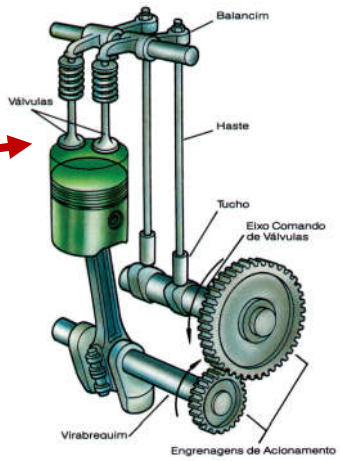
- Localizada em uma das extremidades do eixo
- O diâmetro é o dobro da engrenagem da árvore de manivelas

7

Sistema de Válvulas

- Há 2 tipos de sistemas de comando de válvulas
  - Comando indireto
  - Comando direto

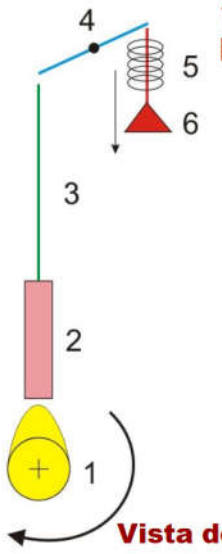


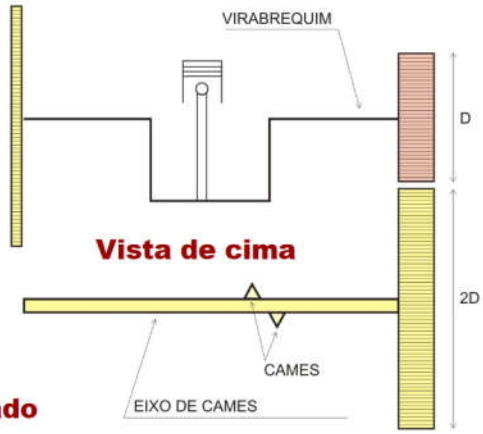


8

Comando indireto

1) eixo de cames; 2) tucho; 3) vareta; 4) balancim; 5) mola; 6) válvula

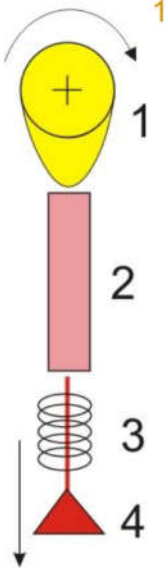


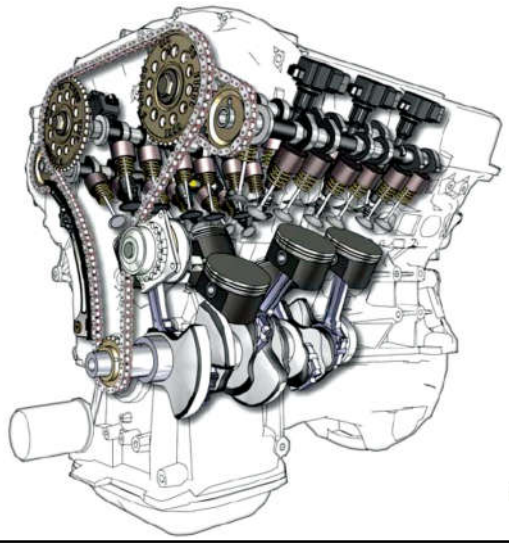


9

Comando direto

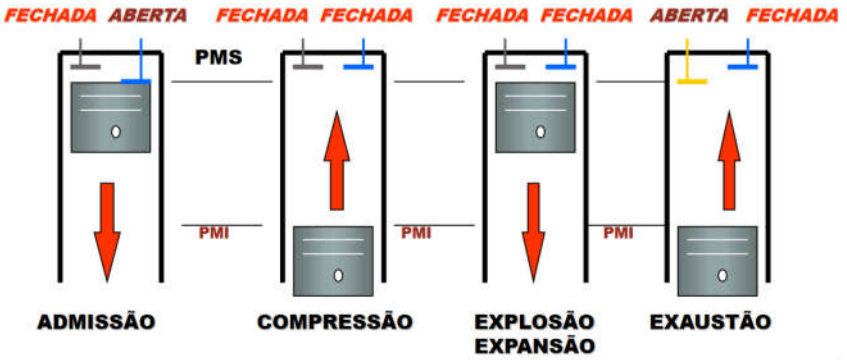
1) eixo de cames; 2) tucho; 3) mola; 4) válvula





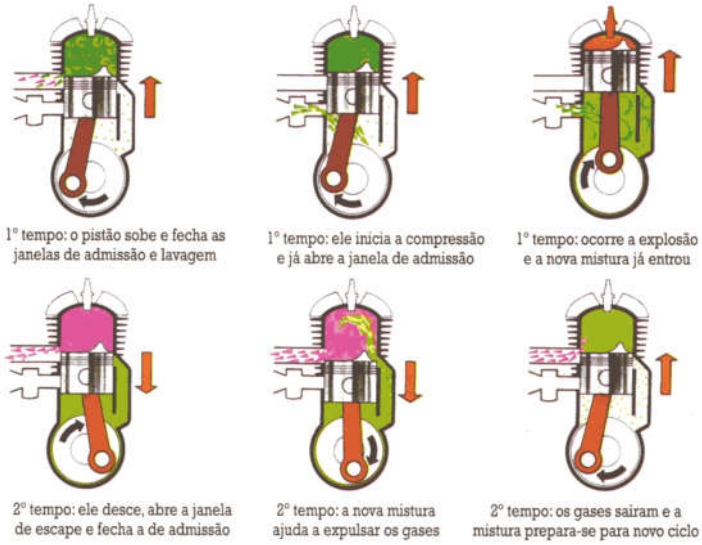
10

TEMPOS	DESLOCAMENTOS DOS ÊMBOLOS	GIROS ADM(º)	VÁLVULAS ADMISSÃO	VÁLVULAS ESCAPE
ADMISSÃO	PMS p/ PMI	0-180	ABERTA	FECHADA
COMPRESSÃO	PMI p/ PMS	180-360	FECHADA	FECHADA
EXPLOS/EXPAN.	PMS p/ PMI	360-540	FECHADA	FECHADA
EXAUSTÃO	PMI p/ PMS	540-720	FECHADA	ABERTA



11

No motor 2 tempos



1º tempo: o pistão sobe e fecha as janelas de admissão e lavagem

1º tempo: ele inicia a compressão e já abre a janela de admissão

1º tempo: ocorre a explosão e a nova mistura já entrou

2º tempo: ele desce, abre a janela de escape e fecha a de admissão

2º tempo: a nova mistura ajuda a expulsar os gases

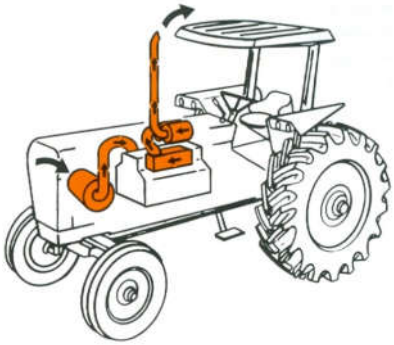
2º tempo: os gases saíram e a mistura prepara-se para novo ciclo

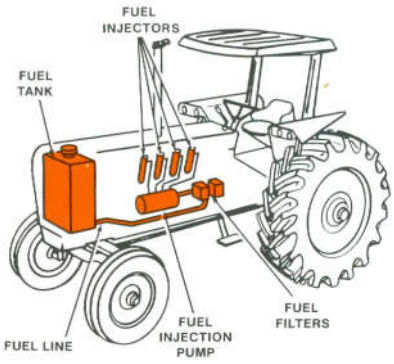
12

12

Sistema de Alimentação

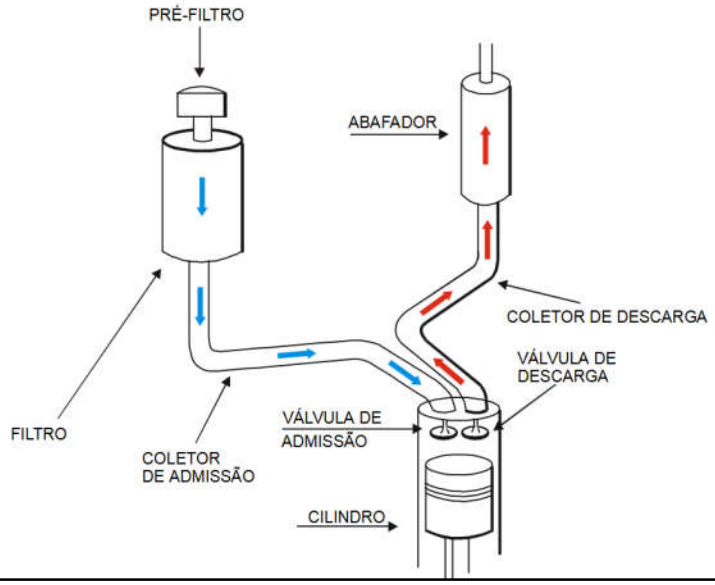
- Suprimento de ar e combustível ao motor
  - Circuito de ar
  - Circuito de combustível





13

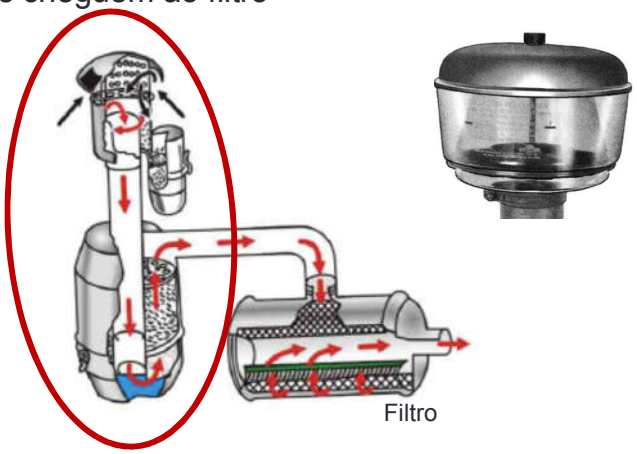
Circuito de Ar



14

Circuito de Ar → Pré-filtro

- Retêm partículas grandes presentes no ar, impedindo que as mesmas cheguem ao filtro



15

Circuito de Ar → Filtro de ar

- Retêm partículas pequenas contidas no ar
  - Elemento principal confeccionado em papel
  - Elemento filtrante de segurança em feltro

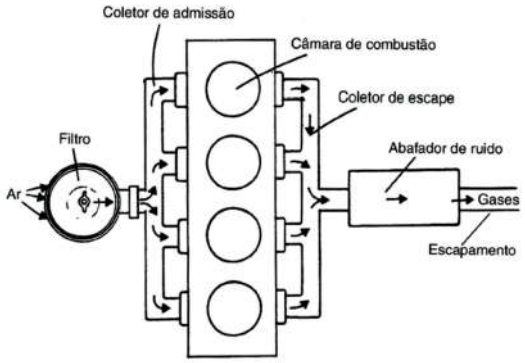




16

Circuito de Ar → Coletor de admissão

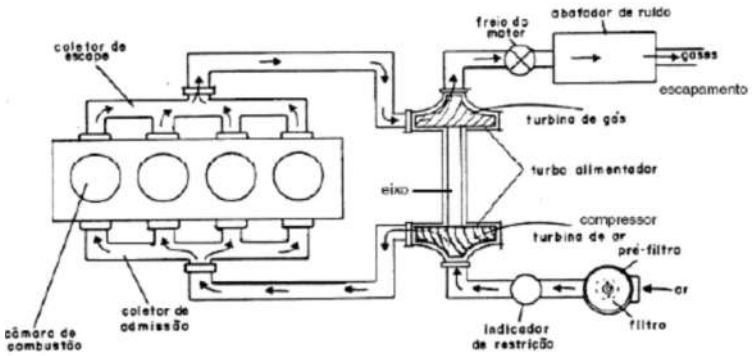
- Entrada de ar no motor
  - Por meio de vácuo criado pelo movimento descendente do êmbolo nos motores de aspiração natural ou convencional



17

Circuito de Ar → Coletor de admissão

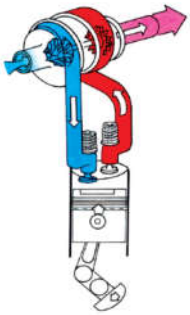
- Entrada de ar no motor
  - Sob pressão em motores com sistema de aspiração turboalimentado

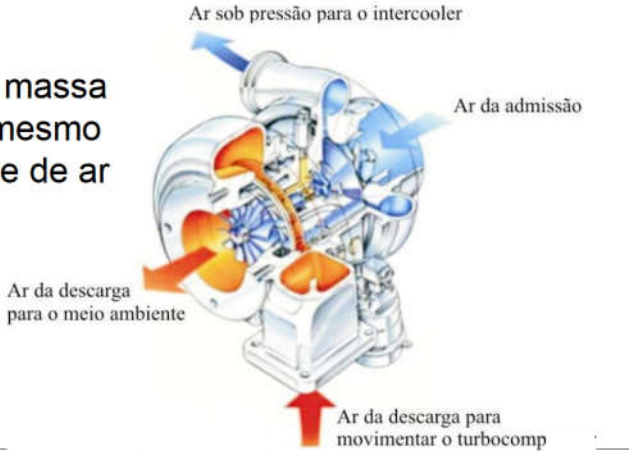


18

Turbocompressor: o ar é admitido sob pressão. Mesma cilindrada com maior potência

- turbocharger, turboalimentador ou turbo
- Maior massa para mesmo volume de ar

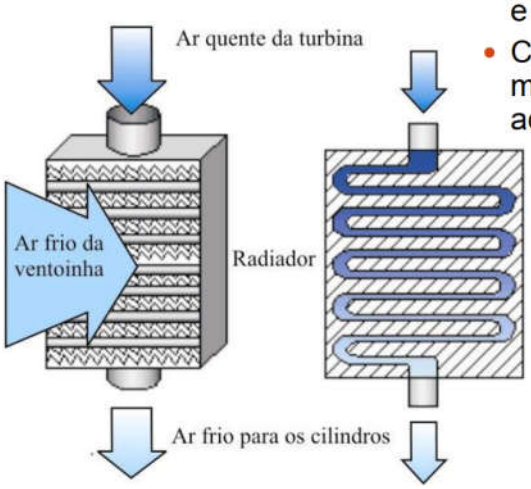


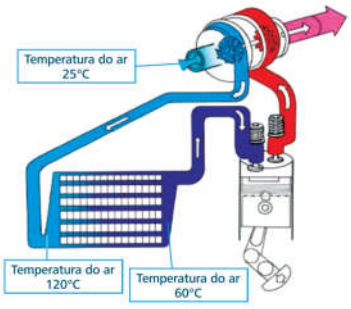


19

Intercooler: sistema de resfriamento de ar para motores turbinados

- Localizado entre a turbina e os cilindros;
- Contribui para aumentar a massa de ar do volume de admissão.





20

Sistema de Alimentação Combustível

- Funções
  - Suprir a quantidade correta de combustível ao motor em função da rotação e carga aplicada;
  - Fazer combustível atingir câmara de combustão atomizado;
  - Permitir injeção no momento exato do ciclo.

- Particularidades
  - No ciclo Otto → carburador ou injeção eletrônica
  - No ciclo Diesel → bico injetor com bomba ou duto pressurizado

21

Circuito de combustível

- Armazenamento, transporte e filtragem de combustível;
- Dosagem de combustível de acordo com a posição do acelerador;
- Injeção de combustível atomizado, sob pressão, no interior da câmara de combustão de cada cilindro segundo a ordem de ignição do motor;
- Pressão de injeção diesel: 1600-2000 kgf cm^{-2}= 1600-2000 atm

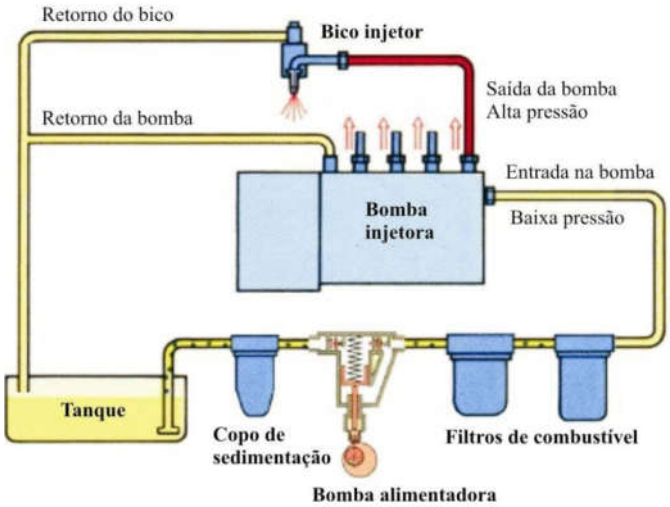
22

Sistema de Alimentação

- Componentes
  - Tanque
  - Tubulações
  - Bombas
  - Bicos Injetores
  - Regulador de Velocidade

23

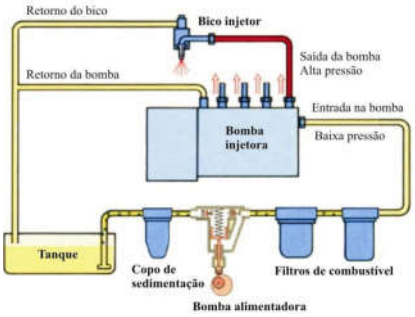
Circuito de combustível - componentes



24

Circuito de combustível - tanque

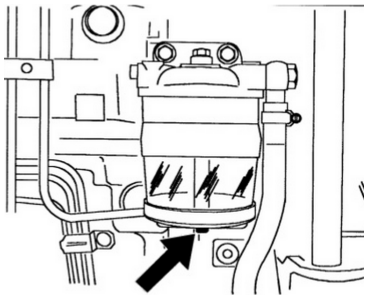
- Fabricado em material não corrosível, usualmente polietileno de alta densidade
- Deve apresentar capacidade suficiente para autonomia de uma jornada de trabalho;
- Tampa com respiro para permitir a entrada de ar;

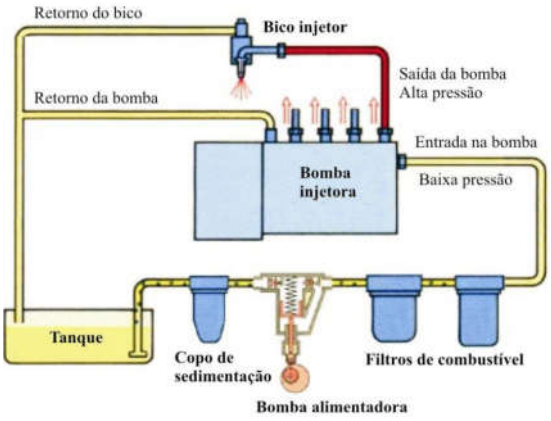


25

Circuito de combustível – copo sedimentador

- Localizado antes da bomba injetora
- Decanta a água presente no combustível
- Apresenta dispositivo para drenagem antes do início da jornada de trabalho



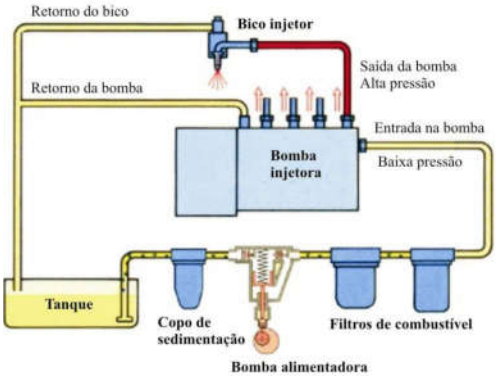


26

Circuito de combustível – bomba alimentadora

- Opera em pressão baixa;
- Bombeamento do combustível do tanque para a bomba injetora



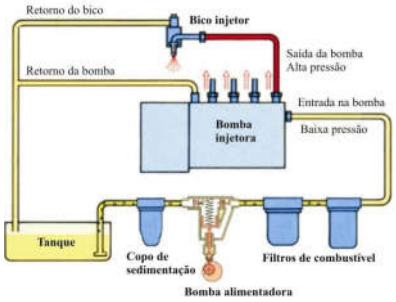


27

Circuito de combustível – filtro de combustível

- Impede que impurezas e partículas presentes no combustível cheguem na bomba injetora

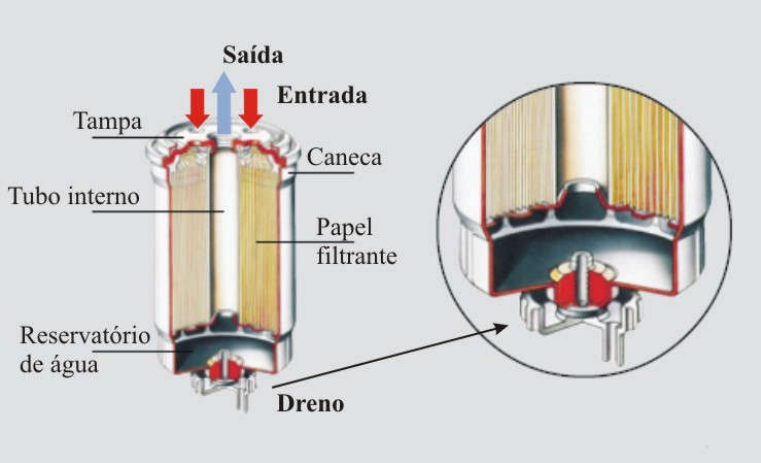




28

Filtro de combustível com sedimentador

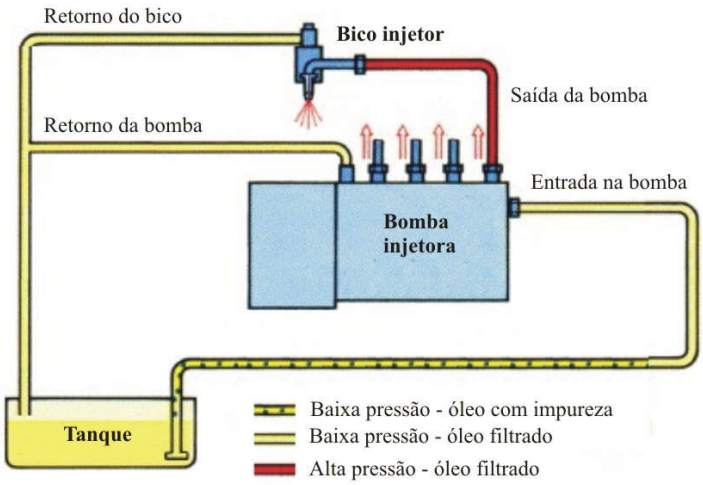
Filtra combustível e decanta água



29

Tubulações

- Baixa pressão: entre o tanque e a bomba injetora
- Alta pressão: entre a bomba injetora e os bicos injetores



30

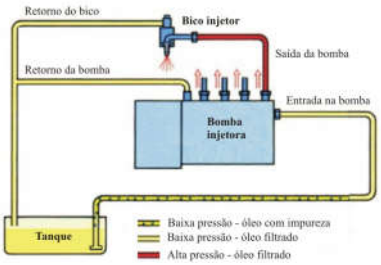
Sistema de Injeção

Funções

1. Fornecer aos bicos injetores o combustível sob determinada pressão

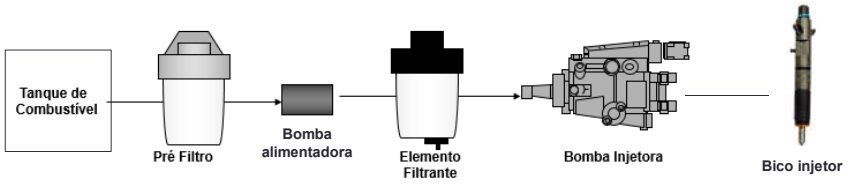
2. Suprir com combustível cada bico injetor, segundo a ordem de injeção do motor, no momento exato da explosão-expansão nos cilindros

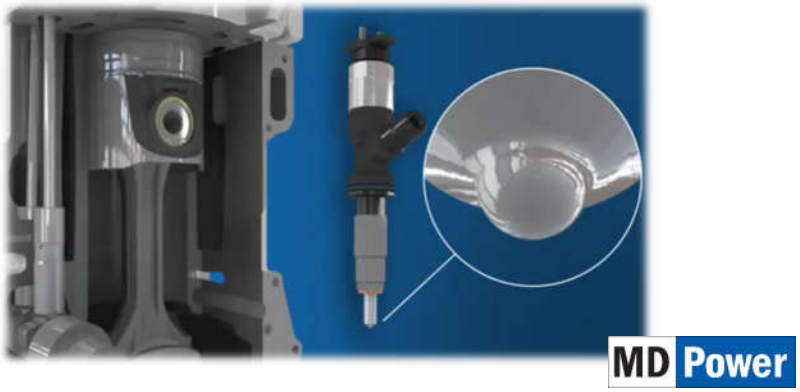
3. Dosar a quantidade de combustível exigida para cada condição de carga do motor.



31

Sistema de injeção de combustível mecânico



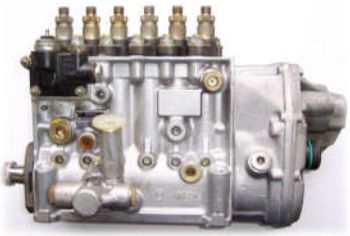


32

Bombas Injetoras de Combustível – "Em linha"

Bombas anteriores usavam um layout em linha com uma série de cilindros de injeção operados por came em um eixo, parecido como um "motor em miniatura".

- Tecnologia tradicional
- Robusto e tolerante a detritos de combustível
- Desvantagem: capacidade reduzida de controle em comparação com bombas rotativas.



33

Bombas Injetoras de Combustível – "Rotativas"

A bomba rotativa usa um único cilindro de injeção acionado por uma placa de came axial, que é injetada nas linhas de combustível individuais por meio de uma válvula de distribuição rotativa.

- Compacto
- Menor ruído
- Controle de emissões
- Melhor desempenho



34

Necessidade de maior controle do motor

Os sistemas de injeção combustíveis puramente mecânicos estão gradualmente sendo eliminados para cumprir as diretrizes internacionais de emissões e para aumentar o desempenho e a economia.

Quando a fase MAR-1 entra em vigor?
A fase MAR-1 entra em vigor de forma escalonada, conforme cronograma abaixo:

Ano	Máquinas de construção
2015	Novos modelos introduzidos/lançados no mercado de potência igual ou superior a 37 kW (50 cv) até 560 kW (761 cv)
2017	Todos os modelos com potência igual ou superior a 19 kW (25 cv) até 560 kW (761 cv)

Ano	Máquinas agrícolas
2017	Todos os modelos com potência igual ou superior a 75 kW (101 cv) até 560 kW (761 cv)
2019	Todos os modelos com potência igual ou superior a 19 kW (25 cv) até 75 kW (101 cv)

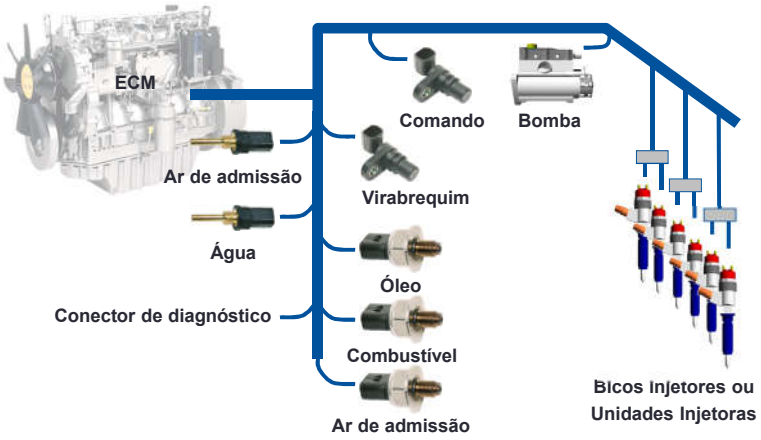
35

Benefícios dos "Motores Eletrônicos"

- Menor consumo de combustível
- Proteção da máquina
- Manutenção e diagnóstico de falhas facilitados
- Atendimento às legislações de emissões
- Melhor "resposta" do motor. 'Rampa de Velocidade' Ajustável
- Melhor torque, diferentes curvas de torque disponíveis
- Maior confiabilidade e monitoramento dos parâmetros do motor
- Integração com o projeto da máquina
- Flexibilidade de configuração
- Controladores lógicos programáveis podem ser usados para controlar o motor

36

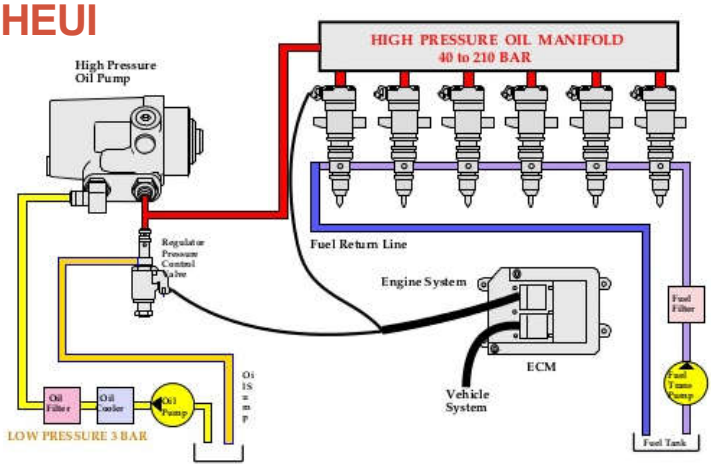
"Motores Eletrônicos"



MD Power

37

Sistema HEUI



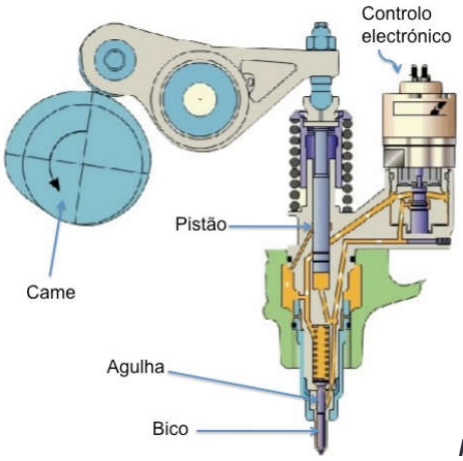
Hydraulic Electronic Unit Injector

Unidade injetora com controle eletrônico e acionamento hidráulico

MD Power

38

Sistema MEUI





Mechanical Electronic Unit Injector

Unidade injetora com controle eletrônico e acionamento mecânico

Combina a bomba injetora e o bico injetor em uma única unidade

39

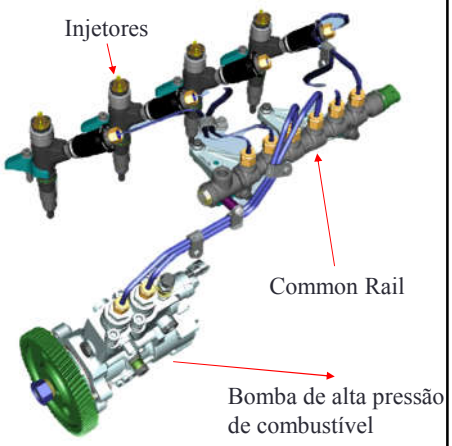
Sistema Common-Rail

Características

- Sistema de combustível de alta pressão de injeção direta
- Bomba, duto de distribuição e bicos injetores de alta precisão
- Abertura de injetores controlada por ECM

Benefícios

- Permite controle preciso da injeção de combustível
- Permite vários eventos de injeção de combustível
- Permite uma combustão otimizada para melhorar o consumo de combustível e reduzir o NOx e o material particulado



MD Power

40

SISTEMA ELÉTRICO

41

Funções do sistema elétrico

- Tem como função auxiliar na partida dos motores;
- Iluminação e eletrônica embarcada em tratores;
- Diferente para ciclo otto e diesel;
  - Nos motores do ciclo otto controla e produz centelha elétrica para combustão;
  - Nos motores do ciclo diesel não faz parte do processo de combustão.

42

Componentes básicos do sistema



Bateria



Alternador

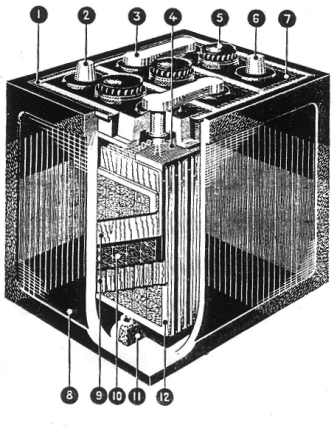


Motor de partida

43

Bateria

Tem como função acumular energia elétrica suficiente para assegurar a partida do motor e iluminação do trator.



1. **Pasta de vedação;**
2. **Pino polar negativo;**
3. **Barra de acoplamento dos elementos do acumulador;**
4. **Ponto polar (de montagem das placas de sinal idêntico);**
5. **Bujão;**
6. **Pino polar positivo;**
7. **Tampa da bateria;**
8. **Cuba;**
9. **Calço de madeira (separador);**
10. **Placa positiva;**
11. **Suporte;**
12. **Placa negativa.**

44

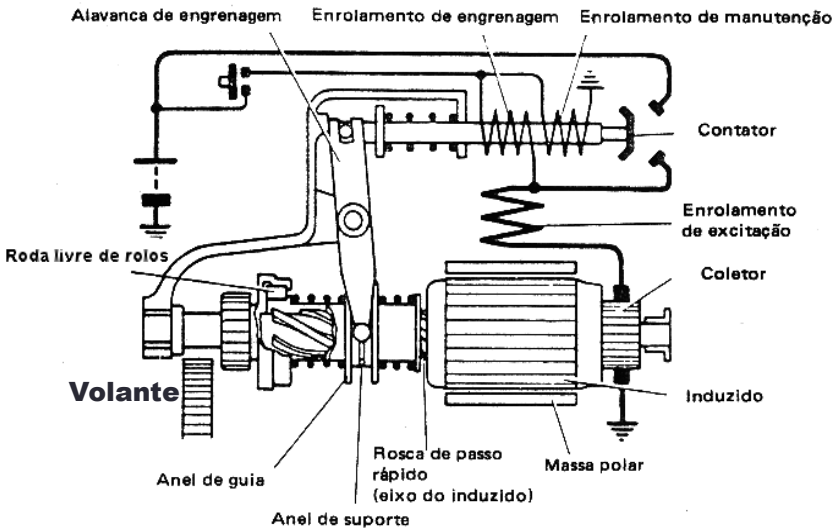
Motor de partida



- Tem como função acionar o volante para dar início ao funcionamento do motor;
- São motores elétricos que recebem energia da bateria;
- Entra em contato com o volante, girando a árvore de manivelas até que ocorra combustão em um dos cilindros do motor
- A mistura é queimada e o motor entra em funcionamento.

45

Componentes do motor de partida

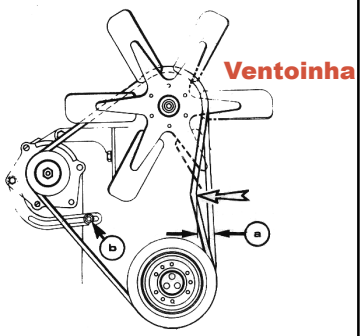


46

Alternador

- Gerador de energia elétrica;
- Transforma a energia mecânica em energia elétrica;
- Tem como função suprir a bateria com energia elétrica suficiente para partida do motor e iluminação do trator.





47

Ignição ciclo Otto

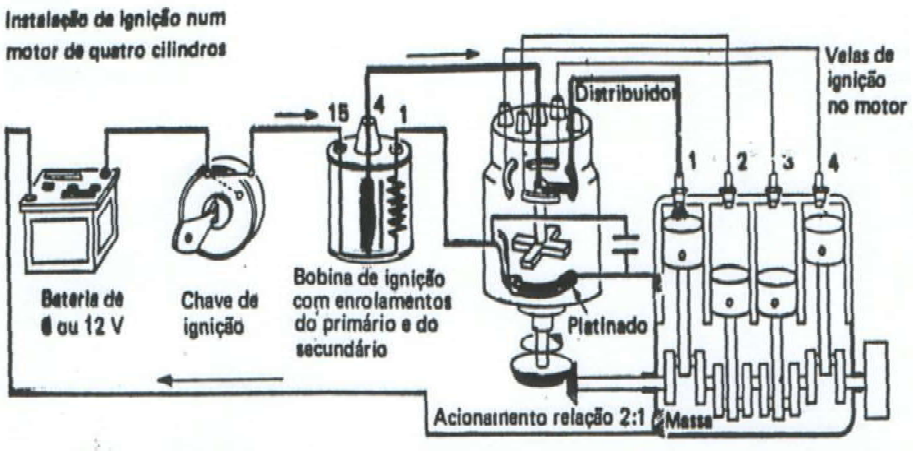


Figura 9.2. Componentes de um sistema de ignição com bateria de seis ou doze volts, de um motor de ciclo Otto a quatro tempos, de quatro cilindros em linha. (Fonte: Niess, F. e col., *Eletricidade de automóveis*, São Paulo: E.P.U., 1976.)

48

SISTEMA DE ARREFECIMENTO

49

Arrefecer x Refrigerar

- “Arrefecimento” é manter a temperatura em um patamar acima daquela ambiente, sob controle. (Ex.: Motores de veículos)
- “Refrigeração” é manter a temperatura em um patamar abaixo daquela ambiente, sob controle. (Ex.: Refrigerador, ar condicionado etc)

50

Sistema de arrefecimento

- MCI são máquinas que transformam uma parte do calor da combustão em trabalho mecânico, através de processos cíclicos (2 ou 4 tempos).

- 65-75% do calor total fornecido pelo combustível não é convertido em trabalho mecânico, sendo liberado por radiação direta, pelos gases de escape e pelo sistema de arrefecimento.

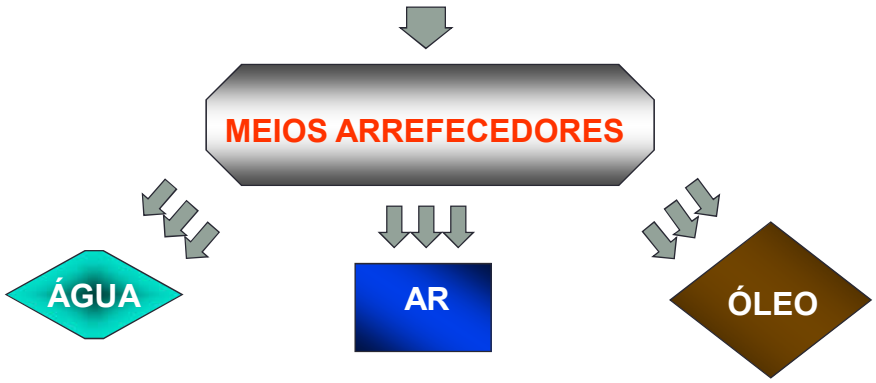
51



FLUXOGRAMA DO PERCURSO DO CALOR EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA POR ÊMBOLOS (% MEDIAS)

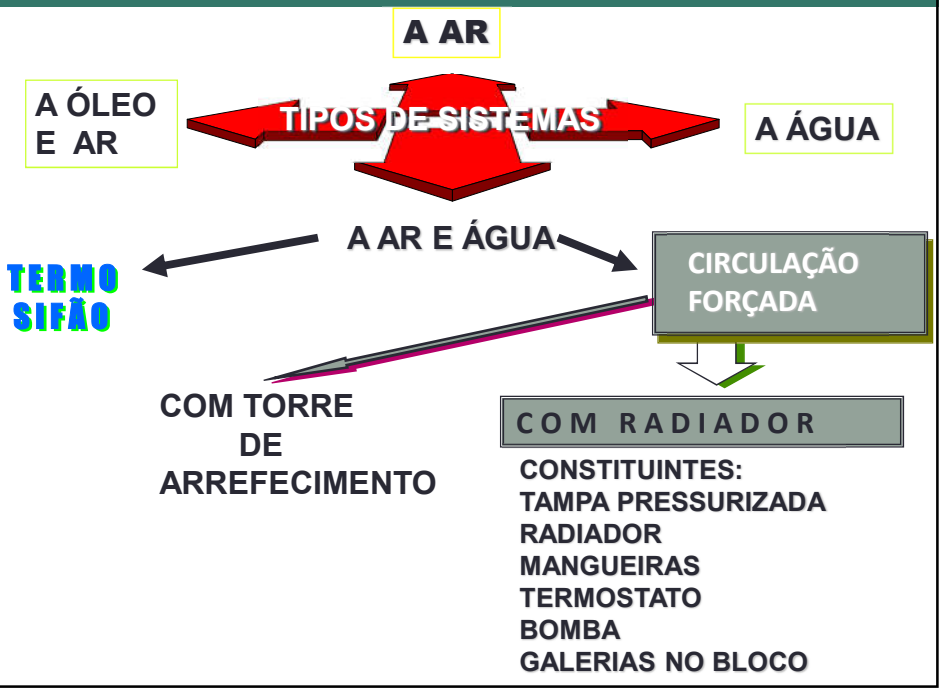
52

O CALOR NÃO TRANSFORMADO EM TRABALHO MECÂNICO TEM QUE SER DISSIPADO! COMO?



OS MEIOS ARREFECEDORES DEFINEM OS TIPOS DE SISTEMAS

53



54

Tipos de sistema

a) Arrefecimento a ar:
- a.1) circulação livre – motos, avião
- a.2) circulação forçada – motores veiculares

b) Arrefecimento a água:
- b.1) Por evaporação (motores pequenos estacionários)
- b.2) Circulação fechada com torre de arrefecimento
- b.3) Circulação aberta com reservatório (grandes motores estacionários)

c) Arrefecimento a ar: circulação livre ou de circulação forçada
- c.1) termo-sifão
- c.2) circulação forçada

55

Sistema a ar

a) Vantagens:
- a.1) construção simples
- a.2) menor peso por CV
- a.3) manutenção simples

b)Desvantagens:
- b.1) difícil controle de temperatura
- b.2) desuniformidade de temperatura do motor
- b.3) susceptibilidade a superaquecimento
- b.4) demanda constante limpeza das aletas

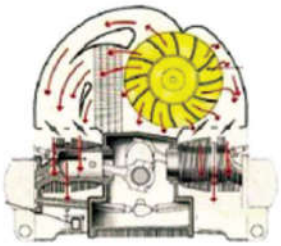
56

Fluxo de ar aletas em forma de cunha

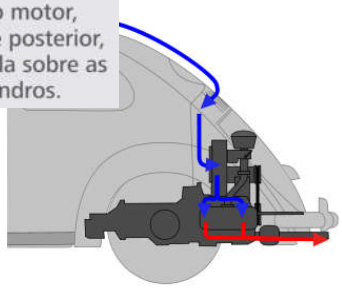


Aletas de resfriamento aumentam a superfície de contato exposta ao ar

Ventilador



O ventilador do motor, montado na parte posterior, aspira o ar e insufla sobre as aletas dos cilindros.

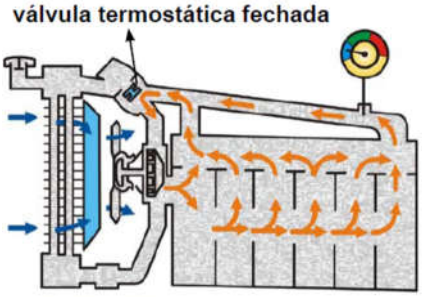


57

Sistema de arrefecimento ar e água forçado → o mais utilizado

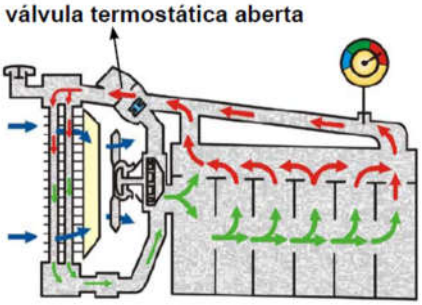
- Radiador e tampa do radiador
- Mangueiras
- Bomba de água
- Ventilador e Correia
- Válvula termostática
- Galerias internas
- Termômetro

válvula termostática fechada



SISTEMA FRIO

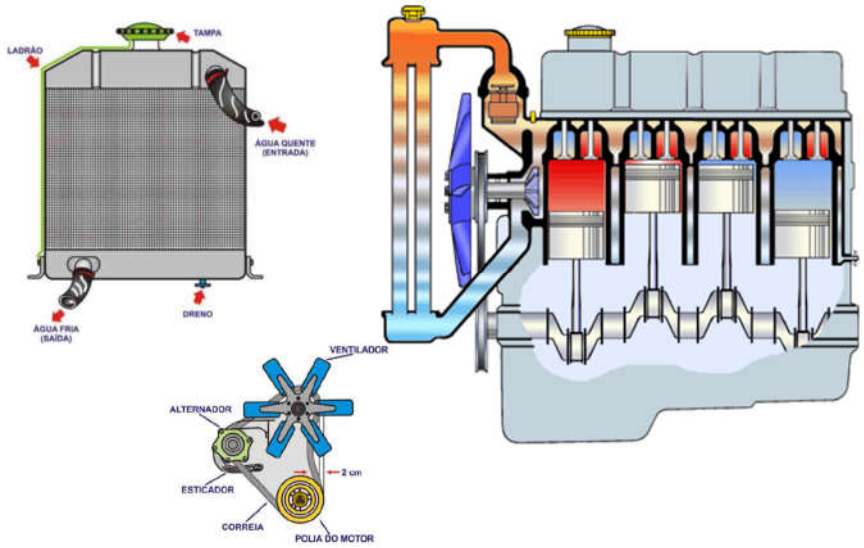
válvula termostática aberta



SISTEMA QUENTE

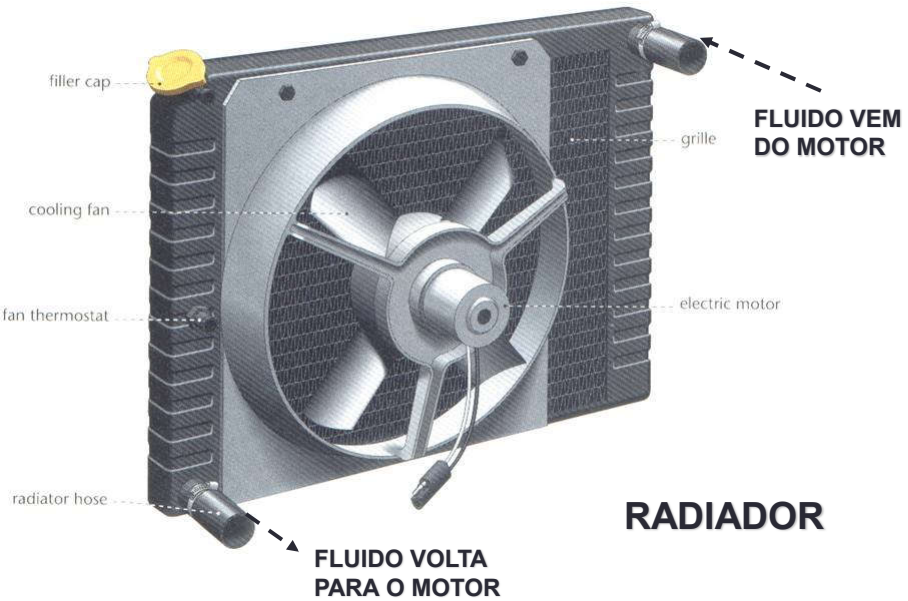
58

Sistema de arrefecimento ar e água forçado → o mais utilizado

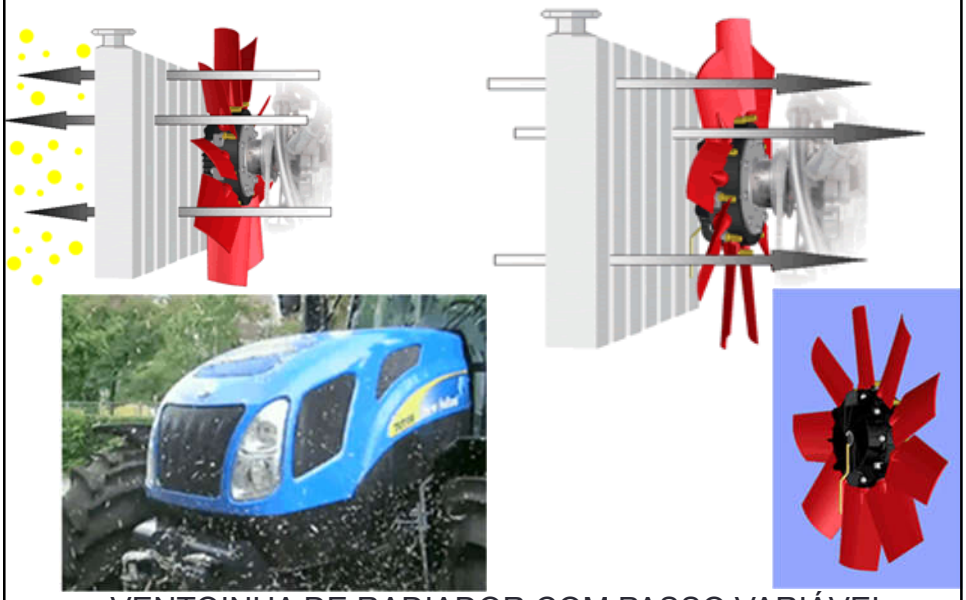


59

59

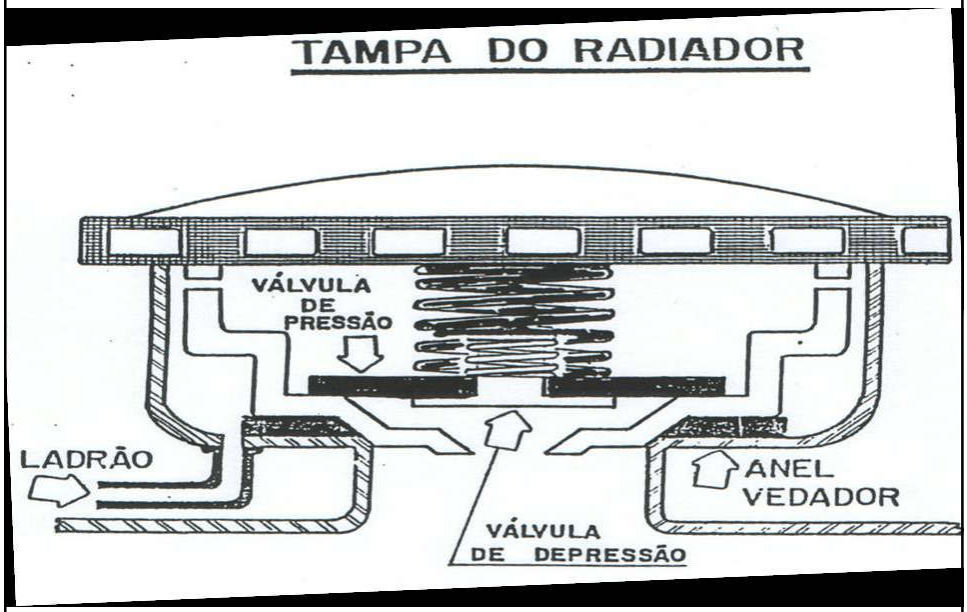


60



VENTOINHA DE RADIADOR COM PASSO VARIÁVEL
E INVERSÃO DE FLUXO

61



62

MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO

63

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

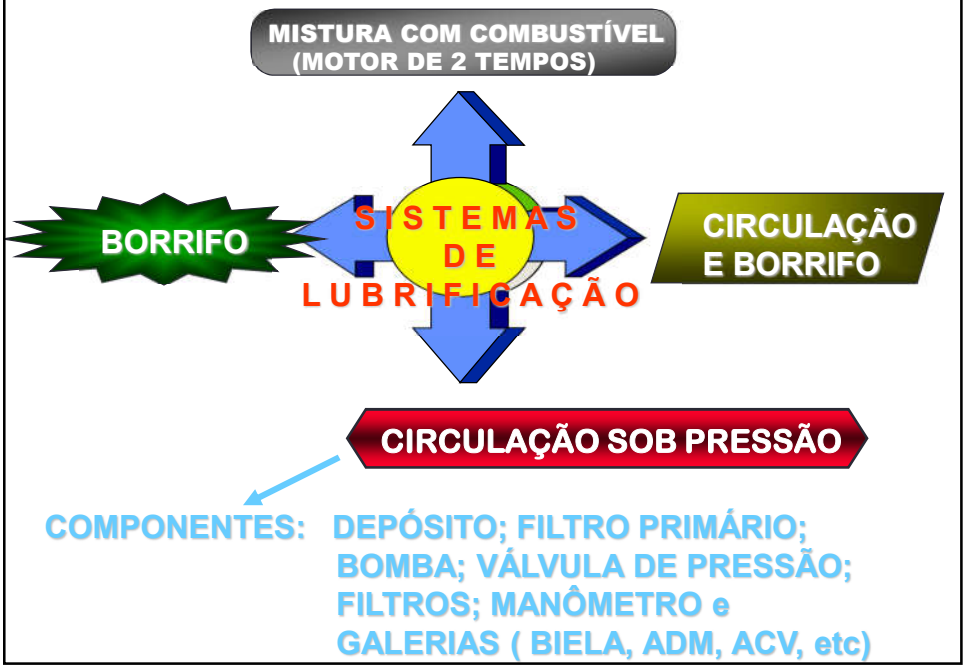
64

LUBRIFICANTE É O ELEMENTO QUE, COLOCADO ENTRE SUPERFICIES QUE SE ATRITAM, SATISFAZ OS OBJETIVOS DA LUBRIFICAÇÃO.

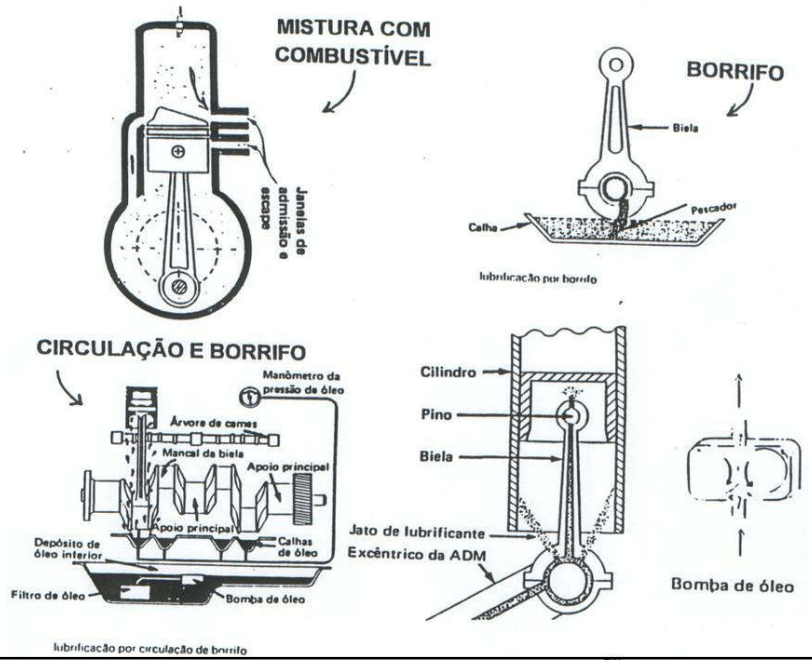
OBJETIVOS DA LUBRIFICAÇÃO



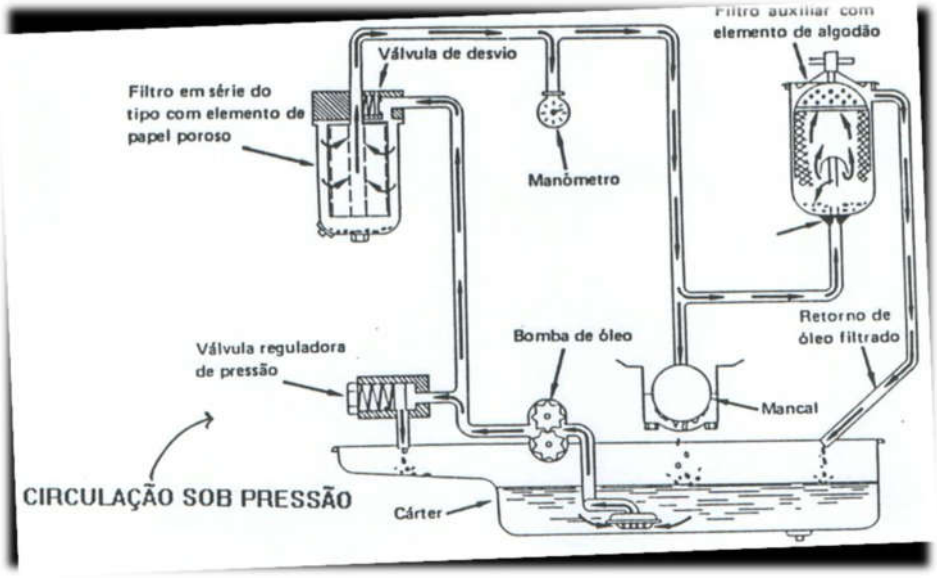
65



66


MISTURA COM COMBUSTÍVEL
Janelas de admissão e escape
BORRIFO
Biela
Pescador
Calha
lubrificação por borrifo
CIRCULAÇÃO E BORRIFO
Manômetro da pressão de óleo
Árvore de cames
Mancal da biela
Apoio principal
Apoio principal
Depósito de óleo inferior
Calhas de óleo
Filtro de óleo
Bomba de óleo
lubrificação por circulação de borrifo
Cilindro
Pino
Biela
Jato de lubrificante
Excêntrico da ADM
Bomba de óleo

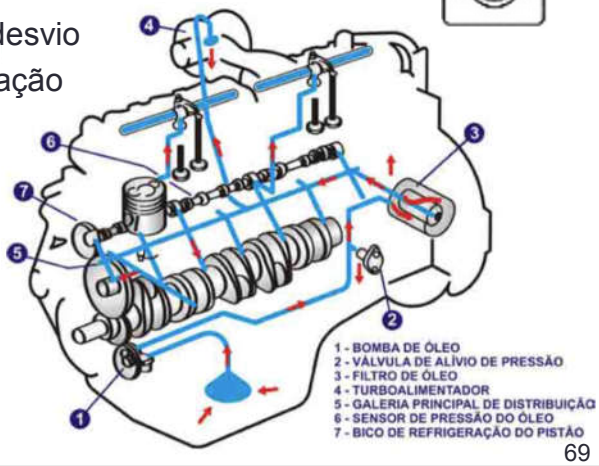
67


Filtro auxiliar com elemento de algodão
Válvula de desvio
Filtro em série do tipo com elemento de papel poroso
Manômetro
Retorno de óleo filtrado
Bomba de óleo
Válvula reguladora de pressão
Mancal
CIRCULAÇÃO SOB PRESSÃO
Cárter

68

Sistema de lubrificação do motor

- Carter
- Bomba de óleo e válvula de alívio
- Filtro e válvula de desvio
- Galerias de lubrificação
- Manômetro
- Respiro do motor



69

69

Sistema de lubrificação do motor

Tipos de óleo quanto à origem ou base

- De base orgânica – obtidos de gorduras animais e vegetais, utilizados como aditivo para melhorar as qualidades de alguns tipos de óleo →mamona
- De base mineral – extraídos do petróleo, são os óleos mais usados em tratores e máquinas agrícolas
- De base sintética – Desenvolvidos em laboratório, a partir de substâncias químicas especialmente desenhadas para conferirem características de viscosidade superiores às dos óleos minerais, porém com custos de fabricação bem mais elevados que os dos óleos minerais.
- Óleos lubrificantes de base mista ou semissintético – a é utilizada para formular lubrificantes de elevada qualidade a partir de mineral + sintético.

70

70

Sistema de lubrificação do motor

- **Classificação do óleo quanto à viscosidade – SAE**
  - Viscosímetro – aparelho para mensurar a viscosidade

Menor →

Multiviscoso ↕

Maior →

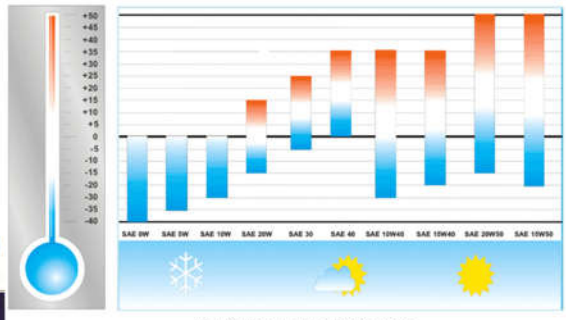
CLASSIFICAÇÃO SAE PARA ÓLEOS LUBRIFICANTES	
ÓLEO PARA MOTORES	ÓLEO PARA TRANSMISSÃO (ENGRENAGENS)
0 W	70 W
5 W	75 W
10 W	80 W
15 W	85W
20 W	80
25 W	90
20	140
30	250
40	
50	
60	

71

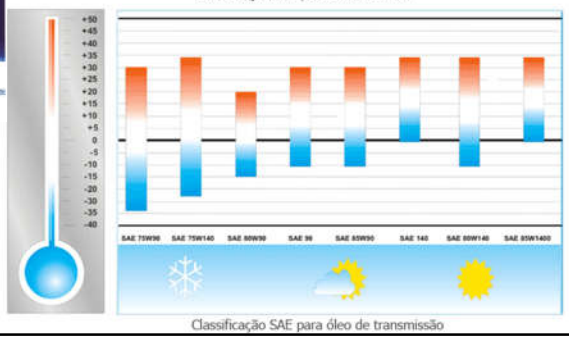
- Classificação viscosidade – SAE



Índice de Viscosidade: mede a variação da viscosidade com a temperatura
Quanto mais alto menor será a influência da temperatura sobre a viscosidade



Classificação SAE para óleo de motor



Classificação SAE para óleo de transmissão

72

Sistema de lubrificação do motor

- Classificação quanto ao nível de desempenho – API
- Aditivos - anticorrosivo, antidesgaste, antiespumante, antiferrugem, antioxidante, abaixador do ponto de fluidez, modificador de fricção e agentes de extrema pressão

CLASSIFICAÇÃO API PARA ÓLEOS LUBRIFICANTES					
Óleo para motores de Ciclo Otto (Gasolina, Álcool, etc.)		Óleo para motores de Ciclo Diesel (Óleo Diesel, Biodiesel)		Óleo para Transmissão (Engrenagens)	
SA	Obsoleto	CA	Obsoleto	GL – 1	Obsoleto
SB	Obsoleto	CB	Obsoleto	GL – 2	Obsoleto
SC	Obsoleto	CC	Em Vigor	GL – 3	Obsoleto
SD	Obsoleto	CD	Em Vigor	GL – 4	Em Vigor
SE	Em Vigor	CE	Em Vigor	GL – 5	Em Vigor
SF	Em Vigor	CF	Em Vigor		
SG	Em Vigor	CG-4 - CF-4	Em Vigor		
SH	Em Vigor	CH-4	Em Vigor		
SJ	Em Vigor	CI- 4	Em Vigor		
SL	Em Vigor	CJ-4	Em Vigor		
SM	Em Vigor				

73



FIM

Leandro M. Gimenez
lmgimenez@usp.br

74