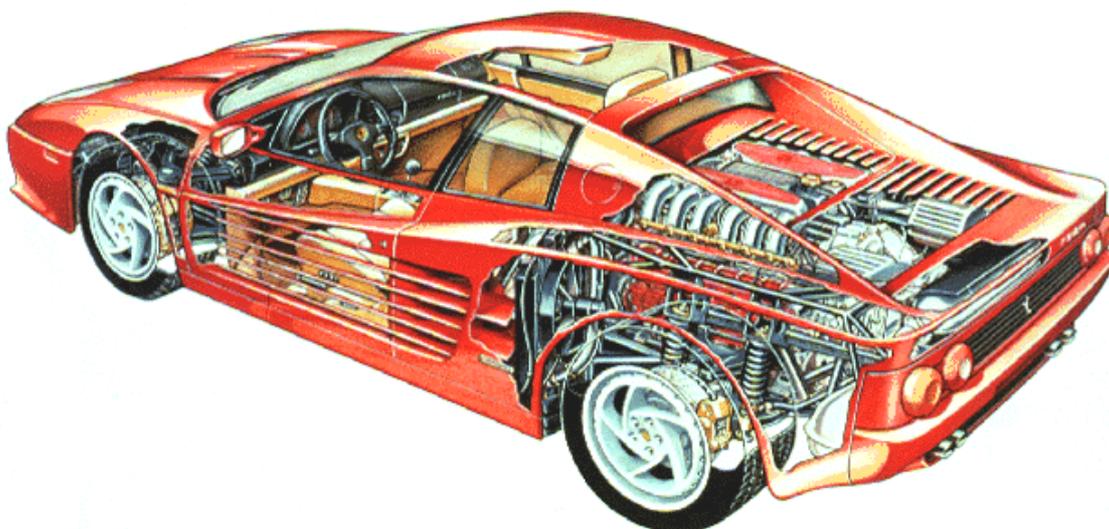




MÁQUINAS TÉRMICAS I
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA



Professor Luiz Carlos Martinelli Jr.

Unijuí – Campus Panambi

Sumário

PARTE I – MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	6
INTRODUÇÃO.....	7
DEFINIÇÃO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	7
CLASSIFICAÇÃO DOS MCI.....	7
VANTAGENS & DESVANTAGENS	8
DEFINIÇÕES.....	9
<i>Ponto Morto Superior e Ponto Morto Inferior</i>	9
<i>Cilindrada</i>	9
<i>Câmara de Compressão ou de Combustão, Volume Morto</i>	10
<i>Octanagem</i>	11
Para a Gasolina	11
Para o Etanol.....	12
<i>Taxa de Compressão (Relação)</i>	12
<i>Auto-Ignição</i>	15
<i>Avanço</i>	16
<i>Outras Definições e Nomenclatura</i>	17
MOTORES ALTERNATIVOS	19
<i>Motor a Quatro Tempos</i>	20
<i>Motor Dois Tempos</i>	22
1º Tempo - Curso de Admissão e Compressão.....	23
2º Tempo - Combustão e Escape	23
MOTOR WANKEL	24
MOTORES CONCEITO.....	30
<i>Motor Quasiturbine</i>	30
Como funciona.....	30
<i>Motor Alternativo-Rotativo</i>	32
<i>Motor de Parafusos Helicoidais</i>	35
VEÍCULOS HÍBRIDOS	37
Seleção dos Componentes.....	38
Honda Insight.....	40
<i>Fuel Cell – Célula de Combustível</i>	41
CICLOS DE POTÊNCIA	43
<i>Ciclo de Carnot</i>	43
<i>Ciclos de Otto e Diesel</i>	45
Ciclo Otto	45
Ciclo de Diesel.....	47
<i>Ciclo Misto</i>	50
PRINCIPAIS COMPONENTES DOS MCI.....	51
<i>Bloco do Motor</i>	51
<i>Cabeçote</i>	52
<i>Carter</i>	52
<i>Pistão</i>	52
<i>Biela</i>	53
<i>Virabrequim</i>	53
<i>Eixo Comando de Válvulas</i>	53

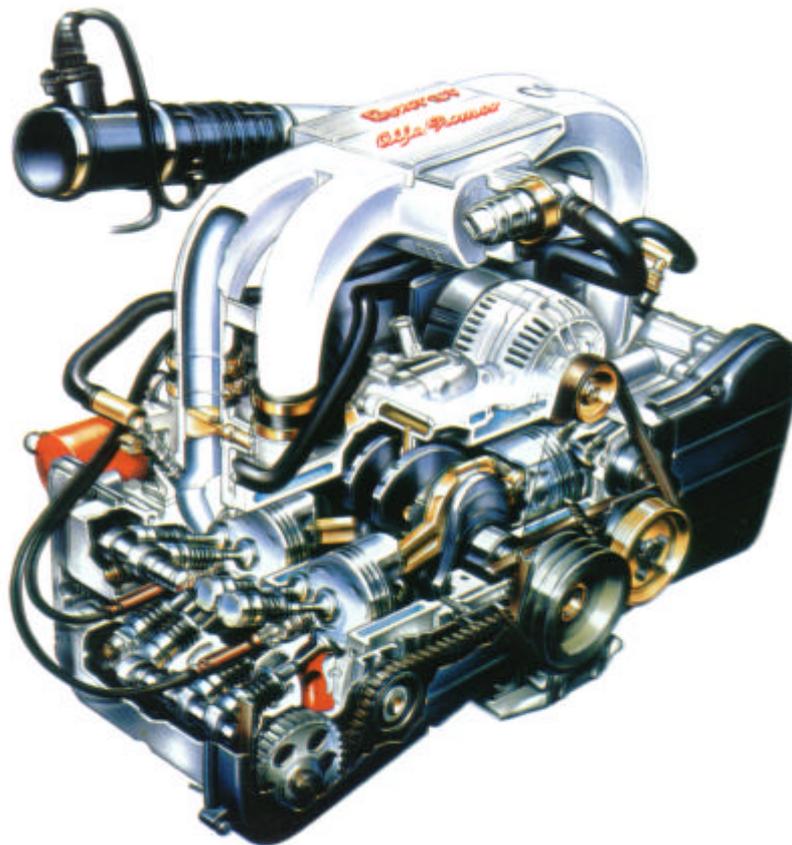
<i>Válvulas</i>	53
<i>Conjunto de Acionamento das Válvulas</i>	54
COMBUSTÍVEIS	54
<i>Diesel</i>	54
Energia Térmica do Combustível	56
Relação Ar-Combustível	56
Gases de Escape - Emissões	57
A Combustão no Motor Diesel	58
<i>Injeção de Combustível</i>	59
Componentes do Sistema de Injeção	61
<i>Lubrificação do Motor</i>	65
Filtros	66
Trocador de Calor	67
Óleo Lubrificante	67
Classificações	67
REFRIGERAÇÃO (ARREFECIMENTO)	70
<i>A Água de Refrigeração</i>	72
SISTEMA DE PARTIDA	73
TURBOALIMENTADOR	74
TERMOS IMPORTANTES (PORTUGUÊS - INGLÊS)	79
BIBLIOGRAFIA DA PARTE I	80
PARTE II - INJEÇÃO ELETRÔNICA	87
INTRODUÇÃO	88
<i>Gasolina Aditivada</i>	90
Mistura ar/combustível	91
<i>Princípio de Funcionamento</i>	92
CLASSIFICAÇÃO	94
COMPONENTES	96
<i>Unidade de Comando Eletrônico</i>	96
<i>Recovery</i>	98
<i>Diagrama de Blocos da UCE</i>	98
Regulador de Tensão Interno	99
Processamento do Sinal de Entrada	99
Memória de Entrada	99
Unidade Central de Processamento (CPU)	100
Memória Programada	100
Memória de Saída	100
Funcionamento de Emergência	100
<i>Cuidados com a Unidade de Comando</i>	100
SENSORES	101
<i>Sensor de Pressão Absoluta do Coletor (MAP)</i>	101
Recovery do MAP	102
<i>Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento (CTS)</i>	103
<i>Sensor de Temperatura do Ar (ACT)</i>	104
Recovery do ACT	105
<i>Sensor de Velocidade do Veículo (VSS)</i>	105
<i>Sensor de Rotação</i>	106
Sensor Hall	106
Sensor Magnético ou de Relutância Variável	107
<i>Sonda Lambda</i>	110
Sensor com um fio	111

Sensor com três fios.....	112
Sensor com quatro fios.....	112
Fator Lambda.....	113
<i>Sensor de Detonação (KS)</i>	114
<i>Sensor de Posição da Borboleta de Aceleração (TPS)</i>	115
<i>Conector de Octanagem</i>	116
ATUADORES.....	117
<i>Bomba Elétrica de Combustível</i>	117
<i>Conversor Catalítico</i>	118
Análise de Emissões.....	118
<i>Válvulas Injetoras</i>	121
<i>Motor de Passo da Marcha Lenta (IAC)</i>	122
<i>Sistema de Ignição Direta (DIS)</i>	122
OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA.....	122
<i>Tanque de Combustível</i>	123
<i>Cânister</i>	123
<i>Filtro de Combustível</i>	123
<i>Regulador de Pressão</i>	124
<i>Filtro de Ar</i>	125
<i>Corpo de Borboleta</i>	125
<i>Bateria</i>	125
Cuidados com a Bateria.....	126
ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DO SISTEMA.....	127
<i>Controle do Conjunto de Sinais</i>	128
CONTROLE DA INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL.....	129
<i>Autoadaptação</i>	129
<i>Partida e Pós Partida</i>	130
<i>Funcionamento a Frio</i>	130
<i>Funcionamento em Plena Carga</i>	131
<i>Funcionamento em Desaceleração</i>	132
<i>Correção Barométrica</i>	132
<i>Funcionamento em “Cut-Off”</i>	132
<i>Funcionamento em Aceleração</i>	132
<i>Proteção contra rotações excessivas</i>	136
<i>Comando da eletrobomba de combustível</i>	137
<i>Comando dos eletroinjetores</i>	137
CONTROLE DA MARCHA LENTA DO MOTOR.....	137
<i>Fase de Partida</i>	137
<i>Fase de Regulação Térmica</i>	137
<i>Fase de desaceleração</i>	137
GLOSSÁRIO.....	138
BIBLIOGRAFIA DA PARTE II.....	141
LINKS.....	141
PARTE III - ANÁLISE DO SISTEMA DE TURBOALIMENTAÇÃO.....	142
INTRODUÇÃO.....	143
HISTÓRIA DO TURBOALIMENTADOR.....	143
O TURBOALIMENTADOR.....	144

<i>Aumentando a potência do motor</i>	146
<i>Funcionamento do Turboalimentador</i>	147
<i>Consumo de um motor turboalimentado</i>	149
<i>Aumentando o torque do motor</i>	149
<i>Durabilidade e manutenção de um motor turboalimentado</i>	150
COMO SELECIONAR UM TURBOALIMENTADOR.....	150
<i>Como selecionar o compressor</i>	151
Razão de Pressão	151
Eficiência do compressor (η_c)	152
Razão de densidade	152
Vazão de ar do motor	153
Calculando e selecionando um compressor	154
<i>Como selecionar a turbina</i>	157
Relação A/R	158
INTERCOOLER.....	158
<i>Calculando o Rendimento do Intercooler</i>	160
<i>Tipos de Intercoolers</i>	162
Intercooler ar/ar.....	162
LUBRIFICAÇÃO DO TURBOALIMENTADOR	166
<i>Coqueificação</i>	166
<i>Selecionando um óleo lubrificante</i>	167
<i>Exigências de pressão</i>	167
<i>Sistema de dreno do óleo</i>	168
CONTROLADORES DE PRESSÃO.....	168
<i>Válvula de alívio</i>	169
<i>Válvulas Wastegate</i>	170
OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA DE TURBOALIMENTAÇÃO	171
<i>Corpo de borboleta</i>	172
<i>Coletor de admissão</i>	173
<i>Sistema de Ignição</i>	174
Velas	174
Coletor de escape	175
Escapamento	176
<i>Válvula de prioridade</i>	177
LEGISLAÇÃO BRASILEIRA EM RELAÇÃO AO USO DE TURBOALIMENTADOR.....	178
CONCLUSÃO	179
BIBLIOGRAFIA DA PARTE III	180
GLOSSÁRIO DA PARTE III	181



PARTE I – MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA



Introdução

Esta apostila foi criada com intenção de dar subsídios ao aluno do Curso de Engenharia Mecânica da Unijuí. A mesma foi construída utilizando-se de informações adquiridas da rede mundial de computadores (Internet), livros e revistas especializadas acrescentando-se a tudo isso uma pitada particular do professor.

Procura-se desenvolver, fora o conhecimento básico necessário, um pouco da história dos veículos automotores, colocando em uma linha do tempo a história de várias empresas famosas, seus fundadores e curiosidades.

Ao final desta, coloca-se uma pequena bibliografia e sites interessantes sobre o assunto.

Definição de Motores de Combustão Interna

São Máquinas Térmicas Motoras nas quais a energia química dos combustíveis se transforma em trabalho mecânico (o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão).

Classificação dos MCI

Os MCI podem ser classificados em:

- a) Quanto a propriedade do gás na admissão:
 - ar (Diesel)
 - mistura ar-combustível (Otto)
- b) Quanto à ignição
 - por centelha (ICE) * spark - ignition (SI)
 - por compressão (ICO) * compression - ignition (CI)
- c) Quanto ao movimento do pistão
 - Alternativo (Otto, Diesel)
 - Rotativo (Wankel, Quasiturbine)
- d) Quanto ao ciclo de trabalho
 - 2 tempos
 - 4 tempos
- e) Quanto ao número de cilindros
 - monocilíndricos

→ policilíndricos

f) Quanto à disposição dos cilindros

→ em linha → opostos (boxer)

→ em V → em estrela (radial)

g) Quanto à utilização

→ 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)

Vantagens & Desvantagens

Vantagens	Desvantagens
arranque rápido trabalho em rotações relativamente baixas pequeno tamanho fácil manutenção	limitação de potência não utilização de combustíveis sólidos peso elevado para potência elevado número de peças baixa eficiência

Definições

Ponto Morto Superior e Ponto Morto Inferior

Ponto Morto Superior (PMS) {TDC - *Top Dead Center*} e o Ponto Morto Inferior (PMI) {BDC - *Bottom Dead Center*}, são nestas posições onde o êmbolo muda de sentido de movimento estando no seu máximo (PMS) ou no seu mínimo (PMI), conforme a Figura 1.

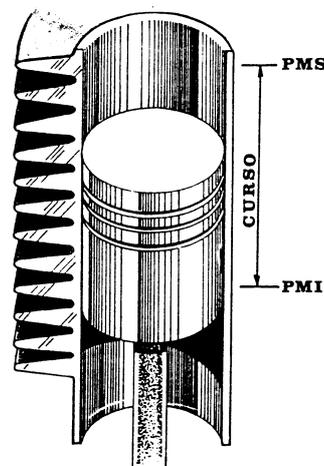


Figura 1 - Curso do Pistão

Cilindrada

É o volume total deslocado pelo pistão entre o P.M.I. e o P.M.S., multiplicado pelo número de cilindros do motor. É indicada em centímetros cúbicos (cm³) e tem a seguinte fórmula:

$$C = \left(\frac{p \cdot D^2}{4} \cdot Curso \right) N_{cilindros} \quad (\text{em cm}^3)$$

Tomando como exemplo o motor de um **Ômega GLS** (GM). De seu catálogo têm-se os seguintes dados:

Motor Dianteiro Longitudinal M.P.F.I.	
Número de Cilindros	→ 04
Diâmetro cilindro	→ 86,0 mm
Curso do pistão	→ 86,0 mm
Taxa de Compressão	→ 9,2:1

assim:

$$C = \left(\frac{p \cdot 8,6^2}{4} \cdot 8,6 \right) 4 = 1998,229 \text{ cm}^3$$

conhecido, no mercado, como 2.0 ou 2,0 litros

Câmara de Compressão ou de Combustão, Volume Morto

É o espaço livre que fica acima do pistão quando este se encontra no P.M.S. Nela, a mistura ar/combustível do motor a gasolina, que entrou pela válvula de admissão, será comprimida e, após a faísca emitida pela vela, explodirá para que a expansão dos gases movimente o pistão e dê seqüência ao funcionamento do motor.

Dependendo do grau de modernidade do motor, a câmara pode estar inserida no cabeçote ou na cabeça dos pistões – esse último mais comumente achados. Basicamente, o volume da câmara de combustão define a Taxa de Compressão do motor. Quanto menor for seu volume, maior será essa relação e, conseqüentemente, melhor o rendimento do motor. Todos os componentes que atuam em sua formação ou ao seu redor influenciam diretamente em sua eficiência: a posição das válvulas e o desenho dos dutos de admissão, por exemplo.

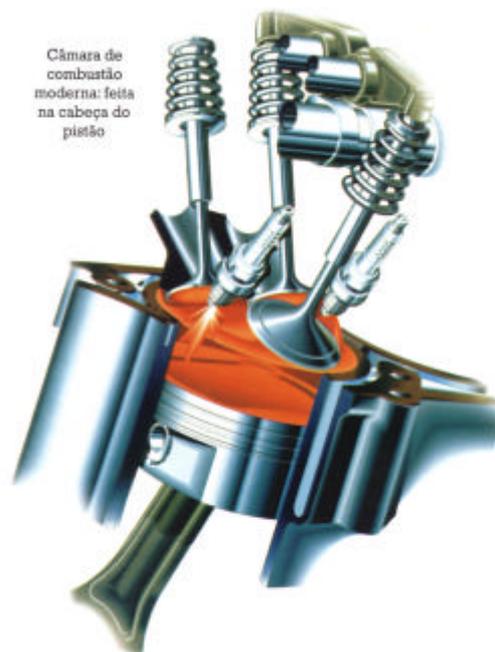


Figura 2 – Câmara de Combustão

Octanagem

A octanagem mede a capacidade da gasolina de resistir à detonação, ou a sua capacidade de resistir às exigências do motor sem entrar em auto-ignição antes do momento programado. A detonação, também conhecida como “batida de pino”, leva à perda de potência e pode causar sérios danos ao motor, dependendo de sua intensidade e persistência.

Um combustível de octanagem **n** é aquele que se comporta como se fosse uma mistura contendo **n%** de isooctano e **(100-n)%** de n.heptano. Por convenção, o isooctano puro tem octanagem 100 e o n.heptano puro tem octanagem zero. Hoje, alguns combustíveis aditivados possuem octanagem superior a escala posta, é uma nova tecnologia.

Para a Gasolina

No Brasil (com exceção do Rio Grande do Sul) é utilizada uma gasolina única no mundo, pois trata-se de uma mistura de 76% de gasolina e 24% de álcool etílico (etanol). O teor de álcool na gasolina é objeto de Lei Federal, cuja especificação final é de responsabilidade da Agência Nacional de Petróleo – ANP.

No Estado do Rio Grande do Sul, ao invés de álcool, utiliza-se o MTBE (metil-tercio-butil-etileno) como oxigenador, i.e., aditivo que contém oxigênio para aumentar a eficiência da combustão do hidrocarboneto Gasolina (C_8H_{18})_n.

Atualmente, a gasolina que compões esta mistura é produzida, em quase sua totalidade, pelas dez refinarias da Petrobras. O restante, por duas outras refinarias privadas: a de Manguinhos, no Rio de Janeiro, e a de Ipiranga, no Rio Grande do Sul. Já o álcool é produzido a partir da cana-de-açúcar em diversas destilarias espalhadas pelo país. A composição final da chamada gasolina brasileira, ou seja, a mistura de gasolina e álcool é realizada pelas Companhias Distribuidoras (Esso, Shell, Texaco, etc...), responsáveis também pela comercialização final do produto junto aos postos de serviço.

Desde janeiro de 1992, a gasolina brasileira é isenta de chumbo. O chumbo era utilizado mundialmente para aumentar a octanagem da gasolina, mas, por questões ambientais, vem sendo gradualmente eliminado. Atualmente, estão à disposição dos consumidores brasileiros 03 tipos de gasolina: comum, comum aditivada e premium. Esta classificação é dada segundo a octanagem da gasolina.

A octanagem da gasolina pode ser avaliada por dois métodos distintos: método Motor (MON – Motor Octane Number) avalia a resistência da gasolina à detonação quando o motor está operando em condições mais severas – alta rotação e plena carga, como acontece em subidas com marcha reduzida e velocidade alta. O método Pesquisa (RON – Reserch Octane Number) avalia a resistência da gasolina à detonação quando o motor está operando em condições mais suaves – baixa rotação, como acontece em subidas com marcha alta. A octanagem das gasolinas brasileiras é equivalente à das gasolinas encontradas nos Estados Unidos e na Europa. É dada pela média entre os dois métodos, conhecida como Índice Antidetonante (MON +RON)/2.

As Gasolinas Comum e Comum-Aditivada têm octanagem de 86, indicadas para a maioria da frota de veículos circulante no Brasil. A Gasolina Premium possui maior octanagem, 91. Pode ser utilizada em qualquer veículo, mas não trará nenhum benefício se

o motor não exigir este tipo de combustível (alta taxa de compressão, com monitoramento eletrônico, injeção multiponto e projetados para gasolinas de alta octanagem).

As Gasolinas Comum e Comum-Aditivada possuem a mesma octanagem, diferenciando-se entre si apenas pela presença de um aditivo, do tipo “detergente dispersante” que tem a função de manter limpo todo o sistema por onde passa a gasolina.

Para o Etanol

No Brasil, o etanol (C_2H_5OH) é utilizado de duas maneiras:

- ⇒ Como mistura na gasolina, na forma de 24% de etanol anidro, a 99,6° Gay-Lussac (GL) e 0,4% de água, formando uma mistura “gasohol” com o objetivo de aumentar a octanagem da gasolina;
- ⇒ Como etanol puro, na forma de etanol hidratado a 95,5° GL.

Nos outros países, as misturas de “gasohol” contêm tipicamente apenas 10% (ou menos) de etanol. O etanol é um excelente combustível automotivo: apresenta um Índice de Octanagem superior ao da gasolina e tem uma Pressão de Vapor inferior, resultando em menores emissões evaporativas. A combustão no ar é inferior a da gasolina, o que reduz o número e a severidade de fogo nos veículos. O etanol anidro tem poder calorífico inferior e superior de 21,2 e 23,4 MJ/l (megaJoule por litro), respectivamente, contra 30,1 e 34,0 MJ/l da gasolina.

As principais propriedades da gasolina e do álcool estão indicadas abaixo:

	GASOLINA	ETANOL
Calor específico (kJ/kg)	34.900	26.700
N.º de Octano (RON/MON)	91/80	109/98
Calor latente de vaporização (kJ/kg)	376 ~ 502	903
Temperatura de ignição (°C)	220	420
Razão Estequiométrica Ar/Combustível	14,5	9

Fonte: Goldemberg & Macedo

Taxa de Compressão (Relação)

Relação matemática que indica quantas vezes a mistura ar/combustível ou simplesmente o ar aspirado (no caso dos diesel) para dentro dos cilindros pelo pistão é comprimido dentro da câmara de combustão antes que se inicie o processo de queima. Assim, um motor a gasolina que tenha especificada uma taxa de compressão de 8:1, por exemplo, indica que o volume aspirado para dentro do cilindro foi comprimido oito vezes antes que a centelha da vela iniciasse a combustão, Figura 3.

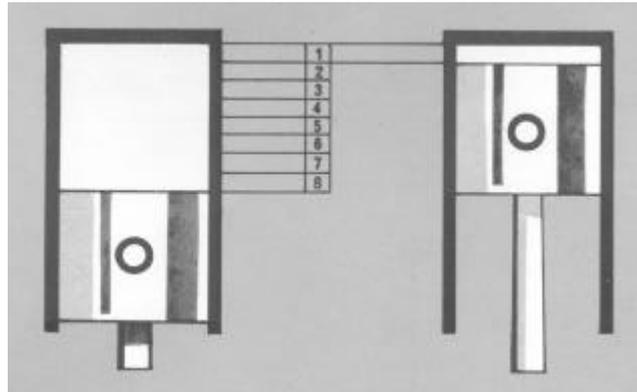


Figura 3 – Definição de Taxa de Compressão

Do ponto de vista termodinâmico, a taxa de compressão é diretamente responsável pelo rendimento térmico do motor. Assim, quanto maior a taxa de compressão, melhor será o aproveitamento energético que o motor estará fazendo do combustível consumido. Por esse motivo é que os motores diesel consomem menos que um similar a gasolina: funcionando com taxas de compressão altíssimas (17:1 nos turbodiesel e até 22:1 nos diesel aspirados), geram a mesma potência consumindo menos combustível.

Há limitações físicas e técnicas para a simples ampliação da taxa. No primeiro caso, ocorre a dificuldade de obtenção de câmaras de combustão minúsculas. Já o seguinte apresenta restrições quanto às propriedades do combustível, i.e., técnicas, o quanto cada um “tolera” de compressão antes de se auto-inflamar (octanagem).

A taxa de compressão corresponde à relação entre

$$TC = \frac{\text{Cilindrada do Motor} + \text{Volume da Câmara de Combustão}}{\text{Volume da Câmara de Combustão}}$$

chamando de V a cilindrada do motor e v o volume da câmara de combustão (volume morto), têm-se:

$$TC = \frac{V + v}{v}$$

Tomando como exemplo o motor de um **Corsa Sedan GL** (GM), Figura 4. Do catálogo, obtêm-se as seguintes informações:

Motor Transversal M.P.F.I. Gasolina		
Cilindrada	1.6	1600 cm ³
Número de Cilindros	04	
Diâmetro do Cilindro	79,0 mm	
Curso do Pistão	81,5 mm	
Taxa de Compressão	9,4:1	

Como a Taxa de Compressão já é dada, pode-se calcular então o volume da câmara de combustão v .



Figura 4 – O veículo do exemplo

para um motor de 04 cilindros $\rightarrow 1600 \text{ cm}^3$

para um cilindro apenas $\rightarrow \frac{1600}{4} = 400 \text{ cm}^3$

a Cilindrada $\rightarrow V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \text{Curso} = \frac{\pi \cdot 7,9^2}{4} \cdot 8,15 = 399,486 \text{ cm}^3$

para uma Taxa de Compressão de 9,4:1

volume morto $v \rightarrow v = \frac{V}{TC - 1} = \frac{399,486}{9,4 - 1} = 47,56 \text{ cm}^3$

Pode-se então calcular a altura deixada no cilindro para a abertura das válvulas:

$$v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$

$$h = \frac{4 \cdot v}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 47,56}{\pi \cdot 7,9^2} = 0,97 \text{ cm}$$

$$h = 9,7 \text{ mm}$$

Com isso pode-se concluir que **a Taxa de Compressão é uma propriedade inerente ao motor (bloco, cabeçote, pistões) e não ao combustível utilizado no mesmo.**

Não se altera a Taxa de Compressão de um motor apenas modificando o tipo de combustível consumido.

Como exemplo, imagine que a altura (h) do cilindro que compões o volume morto (câmara de combustão) tenha sido rebaixada de 0,6 mm. Qual será a nova Taxa de Compressão deste motor?

$$v = \frac{p \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{p \cdot 7,9^2}{4} \cdot (0,97 - 0,06) = 44,605 \text{ cm}^3$$

$$TC = \frac{V + v}{v} = \frac{399,486 + 44,605}{44,605} = 9,956$$

Assim, com a diminuição de 0,6 mm a Taxa de Compressão aumentará de 9,4:1 para aproximadamente 10,0:1.

Auto-Igنيção

Em razão das altas temperaturas na câmara de combustão ou octanagem incorreta da gasolina para a taxa de compressão do motor, algumas vezes o efeito auto-ignição pode ocorrer. Pontos quentes no interior da câmara passam a fazer o papel da vela de ignição, incandescendo a mistura ar/combustível antes mesmo de a vela de ignição iniciar o processo através da centelha elétrica. Uma vela com grau térmico muito alto para a situação em que o motor está sendo utilizado pode também ser o motivo da auto-ignição. Muito prejudicial ao funcionamento do motor, fazendo com que o mesmo perca potência e corra o risco de um superaquecimento ainda maior, a auto-ignição pode levar à destruição da câmara de combustão e, em casos extremos, furos na cabeça dos pistões ou mesmo sua fusão com o cilindro (Figura 5). Seus efeitos devastadores são idênticos aos do motor com ponto de ignição muito adiantado, o que pode acabar provocando detonações (Figura 6). De uma maneira geral, o maior responsável pela auto-ignição é a carbonização da cabeça dos pistões e das câmaras de combustão em motores com alta compressão, fato que aumenta ainda mais a taxa de compressão por reduzir o volume da câmara de combustão, ou que estejam trabalhando com o avanço da ignição adiantado com relação ao ideal para aquele motor.



Aspecto

Zona dos anéis e cabeça do pistão parcialmente destruídas.
Furo no topo do pistão.

Figura 5 – Danificação por Pré-Ignição



Aspecto

Cabeça do pistão parcialmente destruída.

Figura 6 – Danificação por Detonação

Avanço

Nome empregado mais comumente para designar o quanto a faísca da vela deverá ser avançada, com relação ao P.M.S. do pistão para iniciar o processo de combustão. Faz-se o avanço para se obter a máxima pressão sobre o pistão quando o mesmo atinge o P.M.S., melhorando a performance do motor.

Num automóvel, o avanço pode ser de 03 tipos: a vácuo, centrífugo ou eletrônico. Os dois primeiros, absolutamente mecânicos, atuam diretamente sobre o distribuidor (Figura 7), sendo passíveis de erro operacional.

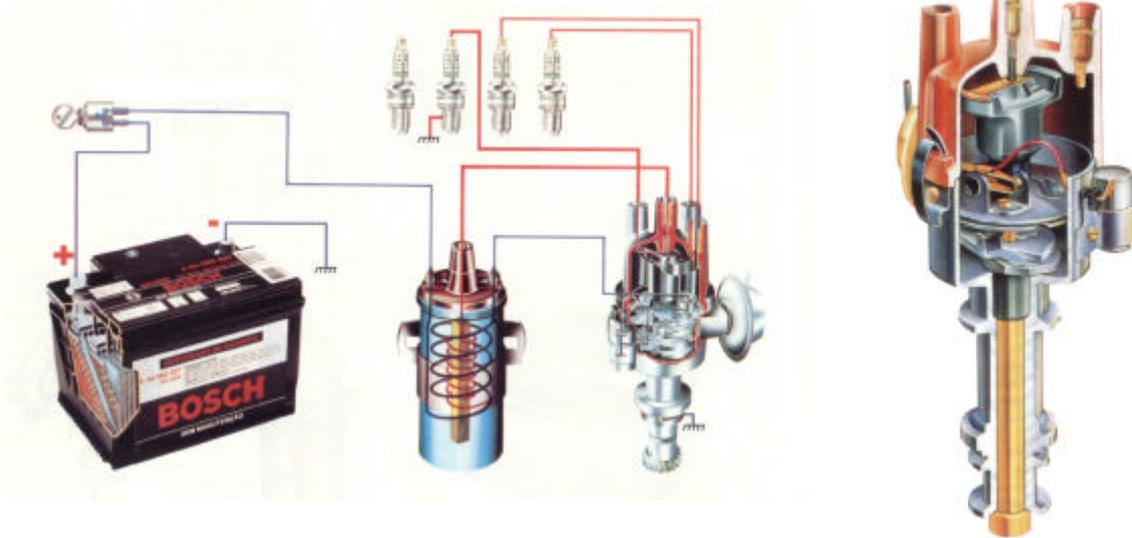


Figura 7 – O Sistema de Ignição Convencional e o Distribuidor

O terceiro tipo de avanço, o eletrônico, existe na memória do sistema de comando da ignição ou, o que é bem mais moderno e comum atualmente, na central eletrônica que comanda a injeção e ignição, simultaneamente.

Outras Definições e Nomenclatura

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.

Notação	Nomenclatura	Definição
D	Diâmetro do Cilindro	Diâmetro interno do Cilindro.
s	Curso do Pistão	Distância percorrida pelo pistão entre os extremos do cilindro, definidos como Ponto Morto Superior (PMS) e Ponto Morto Inferior (PMI).
s/D	Curso/Diâmetro	Relação entre o curso e o diâmetro do pistão. (Os motores cuja relação curso/diâmetro = 1 são denominados motores quadrados.)
n	Rotação	Número de revoluções por minuto da árvore de manivelas.
c_m	Velocidade	Velocidade média do Pistão = $2 s n / 60 = s n / 30$
A	Área do Pistão	Superfície eficaz do Pistão = $\pi D^2 / 4$
P_e	Potência Útil	É a potência útil gerada pelo motor, para sua operação e para seus equipamentos auxiliares (assim como bombas de combustível e de água, ventilador, compressor, etc.)
z	Número de Cilindros	Quantidade de cilindros de dispõe o motor.
V_h	Volume do Cilindro	Volume do cilindro = $A s$
V_c	Volume da Câmara	Volume da câmara de compressão.
V	Volume de Combustão	Volume total de um cilindro = $V_h + V_c$
VH	Cilindrada Total	Volume total de todos os cilindros do motor = $z V_h$
ϵ	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 $(V_h + V_c)/V_c$ ($\epsilon > 1$).
P_i	Potência Indicada	É a potência dentro dos cilindros. Abreviadamente denominada de IHP (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}	Dissipação	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. $P_r = P_i - P_e - P_l - P_{sp}$
	Potência Teórica	Potência teórica, calculada por comparação, de máquina

P_v		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.
η_m	Rendimento Mecânico	É a razão entre a potência medida no eixo e a potência total desenvolvida pelo motor, ou seja: $\eta_m = P_e / P_i = P_e / (P_e + P_r)$ ou então $\eta_m = P_e / (P_e + P_r + P_l + P_{sp})$.
η_e	Rendimento Útil	Ou rendimento econômico é o produto do rendimento nominal pelo rendimento mecânico = $\eta_i \cdot \eta_m$
η_i	Rendimento Indicado	É o rendimento nominal. Relação entre a potência indicada e a potência total desenvolvida pelo motor.
η_v	Rendimento Teórico	É o rendimento calculado do motor ideal.
η_g	Eficiência	É a relação entre os rendimentos nominal e teórico; $\eta_g = \eta_i / \eta_v$.
λ_l	Rendimento Volumétrico	É a relação entre as massas de ar efetivamente aspirada e a teórica.

Motores Alternativos

O Ciclo mecânico é o mesmo em qualquer motor alternativo.

Introduz-se o combustível no cilindro;

Comprime-se o combustível, consumindo trabalho (deve ser fornecido);

Queima-se o mesmo;

Ocorre a expansão dos gases resultantes da combustão, gerando trabalho;

Expulsão dos gases.

Nos motores a pistão, este ciclo pode completar-se de duas maneiras:

- ciclo de trabalho a quatro tempos;
- ciclo de trabalho a dois tempos.

Motor a Quatro Tempos

O ciclo se completa a cada quatro cursos do êmbolo, de onde vem a sua denominação.

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 para o cilindro (turbocompressão).

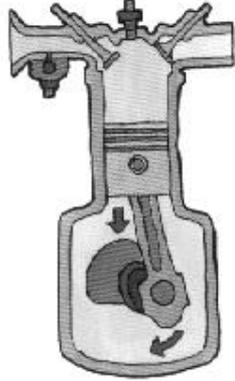
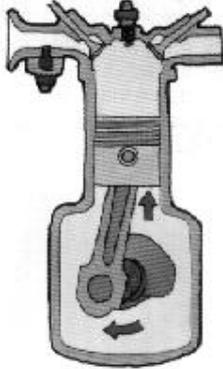
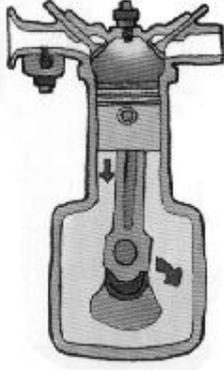
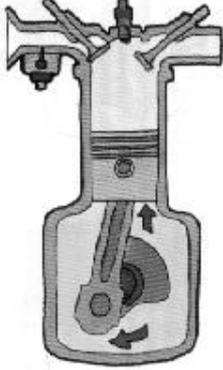
No segundo tempo, ocorre a compressão, com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes do pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado (no motor Otto), ou a auto-ignição (no motor Diesel).

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.

Os quatro tempos:

 <p>1° TEMPO Curso de Admissão</p> <p>Estando o pistão no PMS, o mesmo começa a descer estando aberta a válvula de admissão (VA) e fechada a válvula de descarga (VD). O êmbolo, ao descer gera um vácuo no interior do cilindro, aspirando a mistura ar-combustível (Ciclo Otto) ou somente ar (Ciclo Diesel) até o PMI, quando a VA se fecha, cumprindo-se meia volta do virabrequim (180°).</p>	 <p>2° TEMPO Curso de Compressão</p> <p>Estando VA e VD fechadas, a medida que o pistão desloca-se para o PMS, o mesmo comprime o conteúdo do cilindro, aumentando a sua temperatura e pressão interna, figura 03. O virabrequim gira outros 180°, completando o primeiro giro (volta completa - 360°).</p>
 <p>3° TEMPO Curso de Combustão e Expansão</p> <p>Nesta fase produz-se a energia que será transformada em trabalho mecânico. Pouco antes do pistão atingir o PMS com VA e VD fechadas, a mistura ar-combustível é queimada. A energia liberada</p>	 <p>4° TEMPO Curso de Escape</p> <p>Com a VA fechada e a VD aberta, o êmbolo, ao deslocar-se do PMI para o PMS, onde VD se fecha, expulsa os produtos da combustão. O virabrequim executa outra meia volta - 180°, completando o ciclo</p>

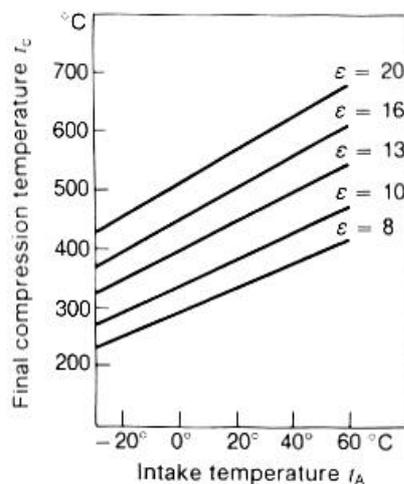
nesta combustão dá origem a uma força no êmbolo, deslocando-o do PMS ao PMI. Esta força é transmitida do êmbolo, através da biela, ao virabrequim girando-o (executa meia volta - 180°).

Figura 8 - Os 4 tempos de um motor de combustão.

É importante salientar que somente no curso de combustão se produz energia mecânica, os outros três tempos são passivos, ou seja, absorvem energia.

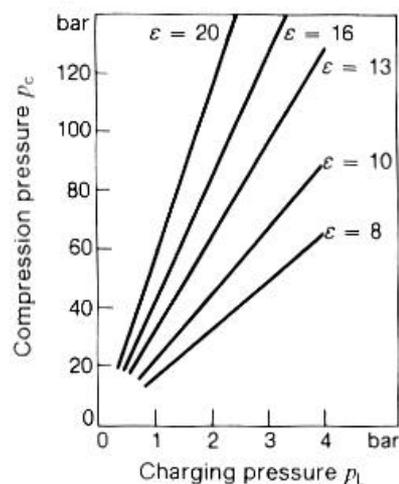
Temperatura e pressão no Final da Compressão

A temperatura no final da compressão é uma função da taxa de compressão e da temperatura de admissão



$$t_c = T_c - 273.15 \text{ K}; T_c = T_A \cdot \epsilon^{\eta-1}; \eta = 1.35$$

A pressão no final da compressão é uma função da taxa de compressão e da pressão de admissão



$$P_c = P_L \cdot \epsilon^{\eta}; \eta = 1.35$$

Figura 9 - Temperatura e Pressão no final da Compressão

Motor Dois Tempos

Os motores deste tipo combinam em dois cursos do êmbolo as funções dos motores de quatro tempos, sendo assim, há um curso motor para cada volta do virabrequim. Normalmente estes motores não têm válvulas, eliminando-se o uso de tuchos, hastes, etc. O carter, que possui dimensões reduzidas, recebe a mistura ar-combustível e o óleo de lubrificação. Deve ser cuidadosamente fechado pois nele se dá a pré-compressão da mistura.

1º Tempo - Curso de Admissão e Compressão

O êmbolo dirige-se ao PMS, comprimindo a mistura ar-combustível. As janelas de escape e carga são fechadas, abrindo-se a janela de admissão. Com o movimento do êmbolo, gera-se uma pressão baixa dentro do carter e assim, por diferença de pressão admite-se uma nova mistura ar-combustível-óleo lubrificante, que será utilizado no próximo ciclo. O virabrequim dá meia volta, 180 graus, fechando o ciclo. Pouco antes de atingir o PMS, dá-se a centelha, provocando a combustão da mistura, gerando uma força sobre o êmbolo. Inicia-se então o próximo ciclo.

2º Tempo - Combustão e Escape

É o curso de trabalho. No PMS, dado início à combustão por meio de uma centelha (*spark*), o êmbolo é forçado até o PMI. Durante o curso, o êmbolo passa na janela de descarga dando vazão aos gases da combustão. Ao mesmo tempo o êmbolo abre a janela de carga permitindo que uma nova mistura ar-combustível entre no cilindro preparando-o para o novo ciclo e forçando os gases provenientes da combustão para fora (lavagem). O virabrequim, neste primeiro tempo, dá meia volta, 180 graus.

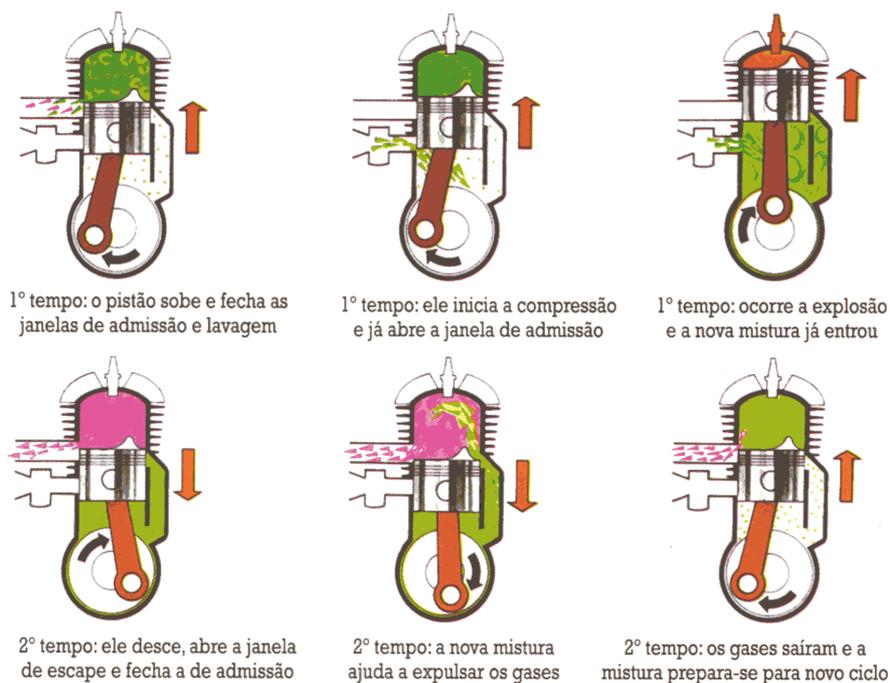


Figura 10 - Ciclo de um Motor 2 Tempos

Motor Wankel

Esse motor, de um modo geral, apresenta as seguintes vantagens relativamente aos congêneres alternativos:

Eliminação dos mecanismos biela-manivela com redução dos problemas de compensação de forças e momentos, bem como vibratórios;

Menor número de peças móveis, o que poderá ocasionar construção e manutenção mais simples e de menor custo;

Maior concentração de potência, logo menor volume e peso.

Por outro lado, o motor apresenta problemas, em parte já sanados e em parte ainda para serem resolvidos. Entre esses problemas, destacamos:

Alta rotação: o primeiro protótipo experimental girava a 17.000 rpm. Atualmente essa rotação encontra-se na faixa das 4.000 rpm.

Problemas de vedação entre pistão e cilindro;

Problemas de lubrificação, sendo que estes dois últimos já foram sanados.

O motor Wankel, consta apenas de cilindro, de duas partes rotativas, árvore com respectivo excêntrico, volantes, massas de compensação e o pistão rotativo, que gira engrenado a um pinhão fixo.

Desde os primeiros dias da invenção do motor a gasolina, milhares já foram construídos baseados em princípios e ciclos diferentes dos que caracterizaram os motores clássicos de dois ou quatro tempos. Entre eles, um tipo desenvolveu-se satisfatoriamente, após anos de estudos e experiências. Trata-se do motor de pistão rotativo ou, como é atualmente conhecido, motor Wankel.

O primeiro automóvel produzido em série a utilizar um desses motores foi o carro esporte NSU de dois lugares, que atraiu muito interesse nos círculos automobilísticos por seu tamanho reduzido, suavidade e a espantosa força desenvolvida por seu motor com meio litro de capacidade - embora isto não seja comparável com o meio litro de um motor de pistão convencional, conforme veremos.

Os princípios essenciais do motor Wankel não são fáceis de descrever, mas antes de mais nada precisamos contar sua história.



Figura 11 - Felix Wankel

Em 1951, Felix Wankel (Figura 11), encarregado do Departamento de Pesquisas Técnicas em Lindau, fez os primeiros contatos com os engenheiros da NSU para estudar os

problemas da vedação de espaços irregulares. Esses estudos resultaram na descoberta de que um motor mais ou menos triangular (mas com lados convexos), girando em uma câmara que tivesse, aproximadamente, a forma de um oito (é claro que as descrições são matematicamente muito inexatas), poderia desenvolver um verdadeiro ciclo de quatro tempos.



Figura 12 - Motor Rotativo Wankel

A primeira aplicação desse princípio foi na forma de um compressor para o motor NSU de 50cc, com dois tempos, que iria estabelecer novos recordes mundiais em Utah, em 1956. O compressor rotativo capacitou este pequeno motor a desenvolver 260HP por litro. Isto deu ao pequenino carro a velocidade de quase 160km/h.

Em 1958, Wankel fez um acordo com a companhia norte-americana Curtiss-Wright para que unissem seus esforços nas tentativas de fabricação de um grande motor baseado nestes princípios. Mais tarde começaram os testes com carros dotados de motores Wankel, diferentes uns dos outros. Dessa época até 1963, o motor foi gradualmente tomando forma definitiva e então adaptado a um pequeno NSU de dois lugares, apresentado no Salão do Automóvel em Frankfurt, no outono de 1963. A partir daí, foi concedida licença, entre outras, para a Mazda, no Japão.

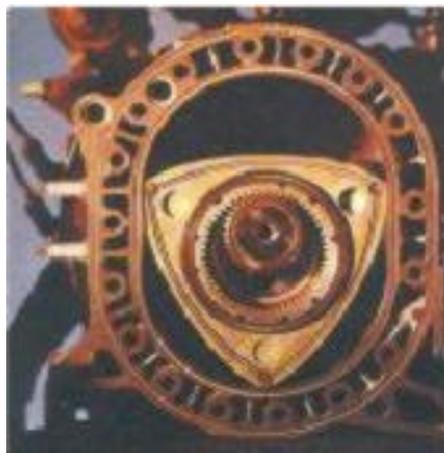


Figura 13 - Motor Rotativo utilizado no Mazda 1972

Talvez o melhor exemplo seja o magnífico NSU RO 80, com dois rotores, que começou a ser produzido em série em outubro de 1967, sendo que a versão com a direção do lado direito foi introduzida no mercado inglês em fins de 1968.

Veremos agora como o motor funciona. Ele consiste essencialmente em uma câmara cujo formato interno se aproxima da forma de um oito. Dentro dela, um rotor mais ou menos triangular - o pistão - gira excentricamente com relação ao virabrequim ou eixo principal do motor. As formas destes dois elementos são tais que enquanto os cantos do pistão estão sempre equidistantes das paredes da câmara - e muito próximos a elas, formando uma vedação - eles sucessivamente aumentam e diminuem o espaço entre os lados convexos do triângulo - o rotor - e as paredes da câmara.



Figura 14 - Mazda RX-7 1979 com motor rotativo

Assim, se uma mistura for injetada numa das câmaras, quando está aumentando de tamanho, será comprimida na redução subsequente de volume, enquanto o rotor, ou pistão, gira. Deste modo, o ciclo clássico de quatro tempos - injeção, compressão, explosão e exaustão - é produzido e, além disso, as três faces do rotor estão em três fases diferentes do ciclo, ao mesmo tempo.



Figura 15 - Mercedes Benz C-111 com motor rotativo

As vantagens do motor Wankel sobre os motores de pistão convencional são muitas. Em primeiro lugar, não existem vibrações devido ao fato de que só há um movimento rotativo, e isso significa ainda menor desgaste e vida mais longa.

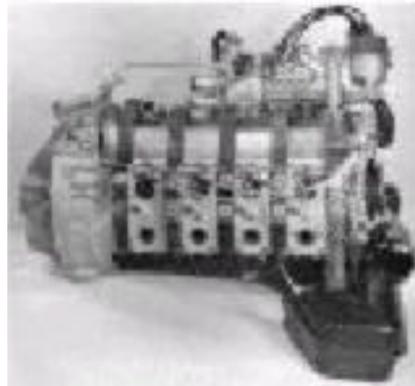


Figura 16 - Motor Rotativo de 4 rotores utilizado no Mercedes C-111

O motor Wankel não tem nada de complicado: ao contrário, tem poucos componentes, é bem menor e consome bem menos do que os outros motores.

Entre suas desvantagens incluem-se uma curva de potência não muito elástica e problemas em manter uma perfeita vedação entre os cantos do rotor e as paredes da câmara, o que causa algumas dificuldades devido ao rigor das especificações do projeto e às tolerâncias mínimas na produção.



Figura 17 - NSU Spider, modelo esportivo de dois lugares com motor rotativo Wankel

No diagrama, a face CA do rotor pode ser vista nas posições 1 e 4, passando gradualmente através dos sucessivos estágios da primeira fase - injeção, na qual a mistura explosiva de ar e gasolina é introduzida na câmara.

Voltemos à figura e vejamos o lado AB. Ele agora começa a fase que AC tinha atingido na figura IV - fase de compressão. Esta fase pode ser seguida nas posições 5, 6 e 7.

Assim que este ponto é atingido, a única vela de ignição produz centelha, e os gases de explosão podem ser vistos na posição 8 produzindo a força para mover o rotor.

Nas posições 9 e 10, pode-se ver o lado BC nas fases de explosão e expansão. Nas posições seguintes (11 e 12), ele expulsa a mistura queimada para fora da câmara de exaustão, caracterizando a etapa de exaustão do ciclo.

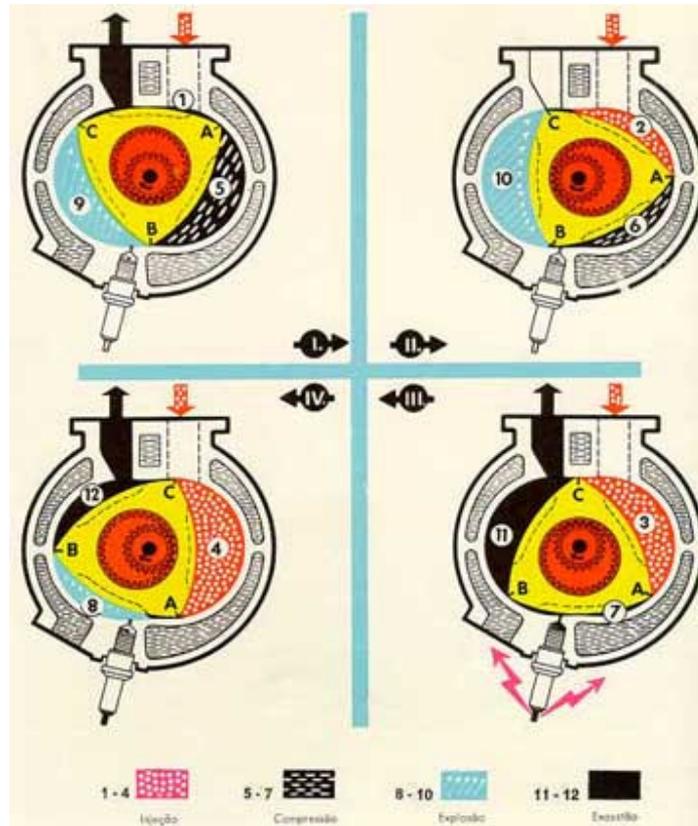


Figura 18 - Esquema de funcionamento do motor Wankel

Assim, três fases do ciclo realizaram-se sucessivamente em três lados do rotor, afastados 120° uns dos outros. Isto explica como um motor Wankel de 50cc pode facilmente desenvolver 50HP. Os 500cc referem-se ao volume entre a câmara e um lado do rotor; como vimos, isto é multiplicado por três, pelos três lados do rotor.

Em 1995 a Mazda lança o **Mazda RX-7**, com as seguintes características:

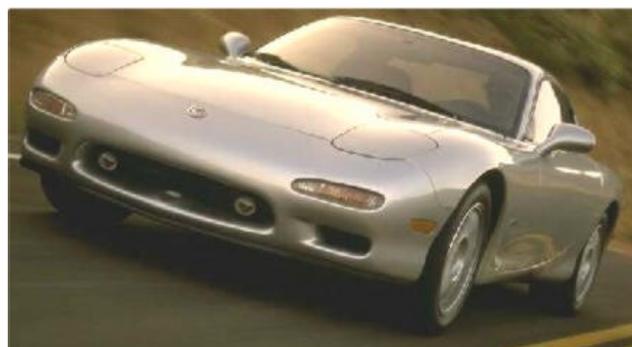


Figura 19 - Mazda RX-7

DESCRIÇÃO: WANKEL, MAZDA 13B, 1.3, 2 cilindros-rotore em linha, dois turbocompressores e intercoolers, injeção multiponto, gasolina

CILINDRADA: 1.308 cm³
POTÊNCIA: 255 cv a 6.500 rpm
POTÊNCIA ESPECÍFICA: 196,1 cv/l
TORQUE: 30 kgfm a 5.000 rpm

COMPRIMENTO: 4.300 mm
LARGURA: 1.750 mm
ALTURA: 1.230 mm
PESO: 1.240 kg
TRAÇÃO: Traseira
CÂMBIO: Manual de 5 marchas
CONFIGURAÇÃO: Cupê
FREIOS: Discos ventilados nas quatro rodas

VELOCIDADE MÁXIMA: 250 km/h
ACELERAÇÃO (0-100 KM/H): 5,3 segundos

Existindo ainda o protótipo de um novo automóvel, o **Mazda RX 2000 Evolv**.



Figura 20 - Mazda RX 2000 Evolv

DESCRIÇÃO: WANKEL, MAZDA 13B EVOLUTION, 1.3, 2 cilindros-rotore em linha, dois turbocompressores e intercoolers, injeção multiponto, gasolina

CILINDRADA: 1.308 cm³
POTÊNCIA: 280 cv a 9.000 rpm
POTÊNCIA ESPECÍFICA: 215,3 cv/l
TORQUE: 21,3 kgf.m a 8.000 rpm

COMPRIMENTO: 4.285 mm
LARGURA: 1.760 mm

ALTURA: 1.350 mm
PESO: Não disponível
TRAÇÃO: Traseira
CÂMBIO: Manual de 6 marchas
CONFIGURAÇÃO: Cupê
FREIOS: Discos ventilados nas quatro rodas

VELOCIDADE MÁXIMA: Não disponível
ACELERAÇÃO (0-100 km/h): Não disponível

Motores Conceito

Motor Quasiturbine

Muita potência, torque uniforme, baixa vibração, pouco consumo, peso reduzido. Parece plataforma eleitoral, mas são as qualidades proclamadas pelos inventores do Quasiturbine, um motor rotativo com características inéditas que está sendo desenvolvido no Canadá.

Criado por um grupo encabeçado pelo físico Gilles Saint-Hilaire, o Quasiturbine recebeu este estranho nome por funcionar de forma semelhante a uma turbina. As turbinas geram energia de forma contínua, sem interrupção. Em cada rotação, ou seja, 360 graus, o QT gera energia durante 328 graus. Para comparar, num motor normal, de quatro tempos, cada pistão gera energia apenas uma vez a cada duas rotações e, assim mesmo, no máximo por 90 graus.

Por ser um motor rotativo, é inevitável comparar o QT com o Wankel, o único desse tipo que chegou a ser usado em escala comercial com relativo sucesso, principalmente pela Mazda. O Wankel tem um desenho bem mais complexo: a cada giro de seu rotor, por exemplo, o eixo de transmissão vira três vezes. E, a cada volta do eixo, há uma explosão, contra quatro do QT que, por isso, oferece uma maior uniformidade de torque. E, embora menor do que os motores a pistão, o Wankel também tem um período "morto": a cada volta do rotor, há três interrupções de 30 graus na geração de energia.

Como não tem virabrequim, o QT elimina, em boa parte, o problema das vibrações. E, sem necessitar de válvulas de admissão ou escapamento, tem um número de peças móveis bastante reduzido. Como o torque é quase constante, ele dispensa o uso de volante para armazenagem de energia, o que contribui para a rapidez na aceleração e reduz seu peso. Outra característica importante é não necessitar de um cárter para óleo, o que possibilita sua montagem em qualquer posição.

Como funciona

O Quasiturbine tem quatro "carruagens", ligadas numa cadeia por um rotor flexível, que percorrem o contorno interior de um retângulo de cantos arredondados, chamado pelos fabricantes de "ringue de patinação" (Figura 21). As carruagens funcionam como elementos de vedação para as câmaras formadas entre o rotor e o contorno do

compartimento interno. Essa cadeia se posiciona, alternadamente, como um retângulo ou um losango, criando câmaras de volume variável entre si e o perímetro do "ringue".

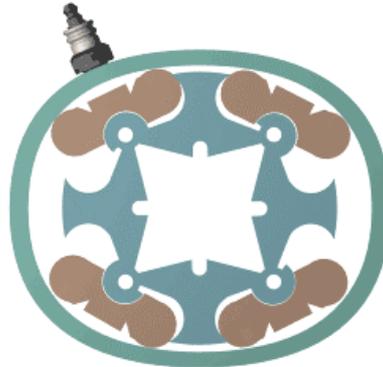


Figura 21 – Esquema do Motor Quasiturbine

A entrada da mistura ar-combustível se dá por uma janela, da mesma forma que o escapamento (essas aberturas podem ficar no contorno externo ou nas coberturas laterais). Há uma vela, que só é acionada na partida: depois de entrar em funcionamento, a ignição é contínua como numa turbina, sendo transferida por fendas ou orifícios. A alimentação pode ser feita por um carburador simples ou por injeção contínua (Figura 22).

Por suas características, o QT funciona em baixa rotação (3.000 rpm parece um limite razoável). Seus criadores dizem que, para uma mesma potência, ele ocupa 30% menos espaço do que um motor a pistão, economizando ainda mais em peso (Figura 23 e Figura 24).

O QT pode usar vários tipos de combustível, variando do diesel ao hidrogênio. Pode funcionar, também, a vapor ou ar comprimido ou ser usado como compressor. Como tem o centro vazio, ele permite a montagem interna de um gerador elétrico, o que o torna muito apropriado para o uso em aplicações híbridas. Se alimentado por um compressor, ele pode ser convertido de quatro para dois tempos, praticamente duplicando sua potência específica.

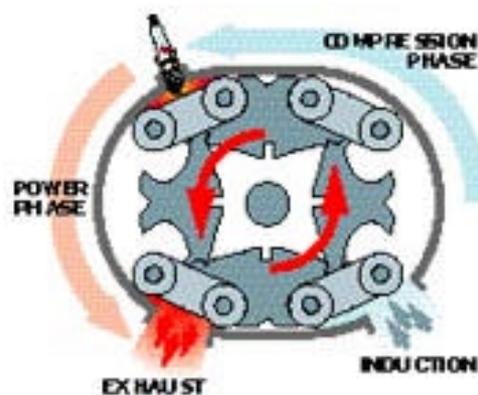


Figura 22 – Esquema de Funcionamento do Motor Quasiturbine



Figura 23 – Partes Móveis do Motor Quasiturbine

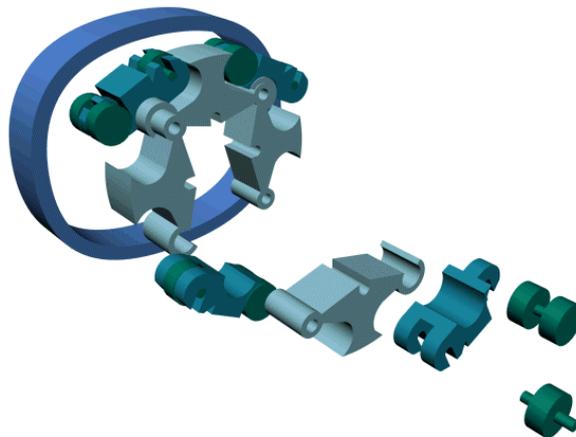


Figura 24 – O Motor Quasiturbine

Motor Alternativo-Rotativo

Idealizado, batizado como “Motor Híbrido” e patenteado com nº P9701056, por Antonio Sánchez¹, espanhol, o motor alternativo-rotativo.

A célula básica deste motor consiste em um estator, que abriga um rotor cilíndrico que contém, por sua vez, cilindros transversais opostos. Em cada cilindro desloca um pistão conectado a um eixo.

¹ mech@nexo.es



Figura 25 – Motor Alternativo-Rotativo

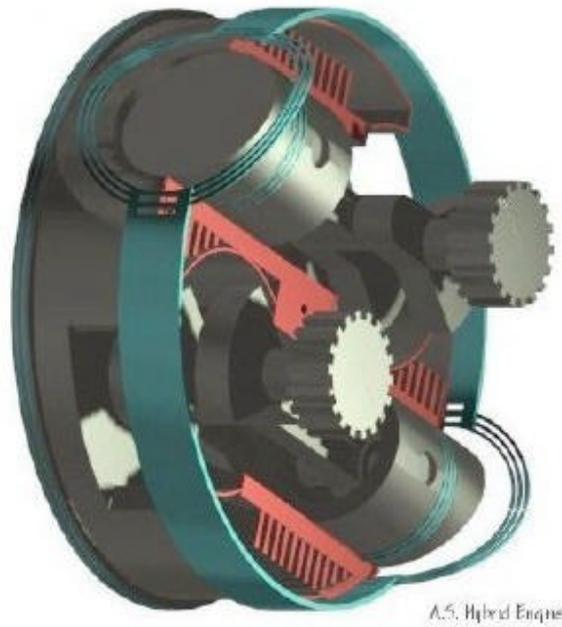


Figura 26 – Partes Internas

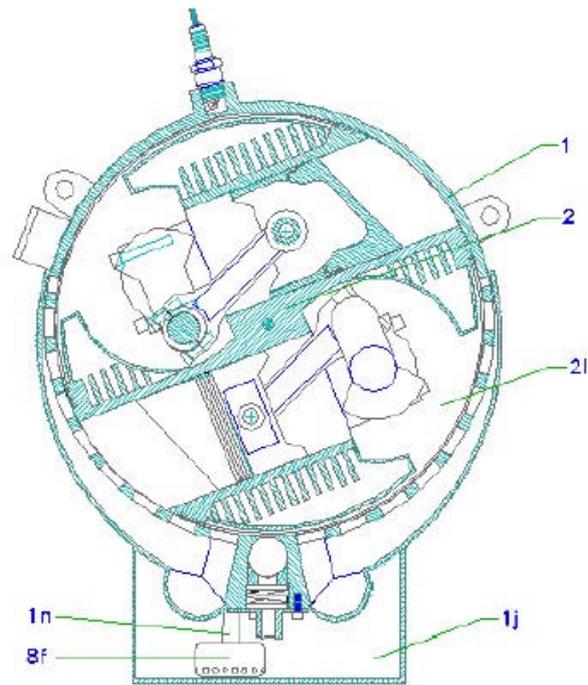
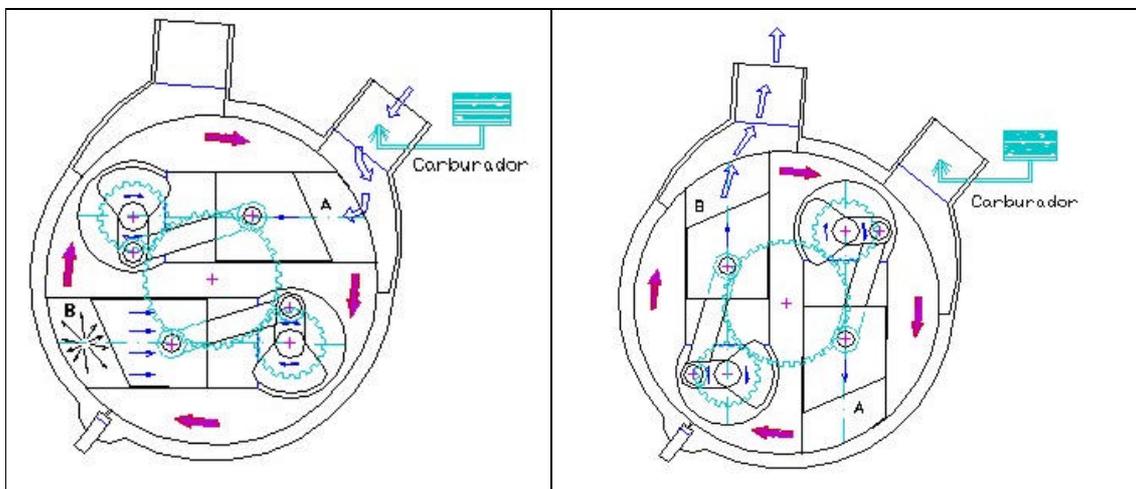


Figura 27 – Motor Alternativo-Rotativo



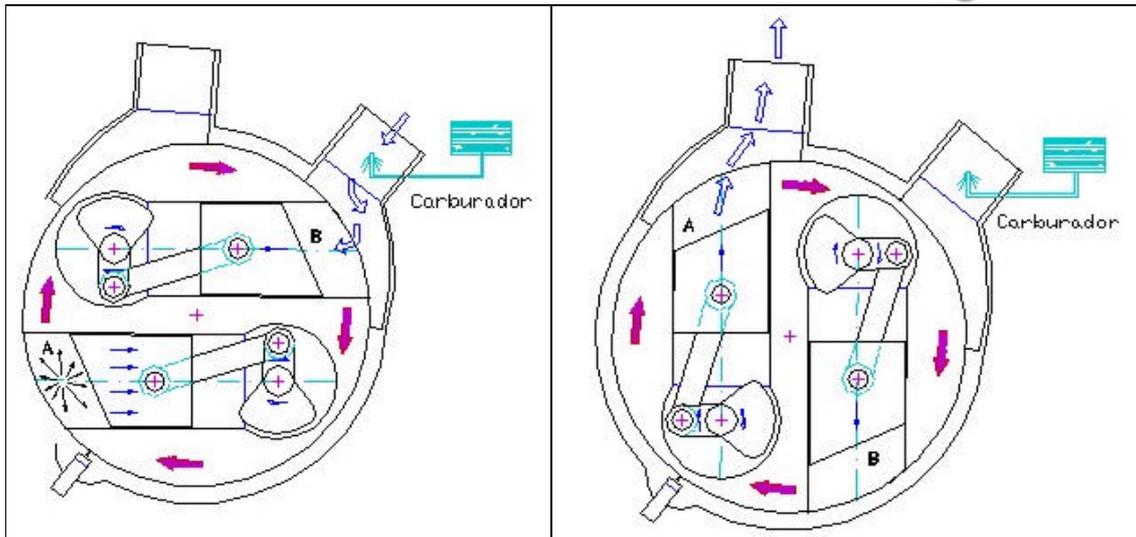


Figura 28 – Ciclo do Motor Alternativo-Rotativo

Motor de Parafusos Helicoidais

www.motorgabriel.com.br

Inventado e patenteado pelo engenheiro paranaense Gabriel Fernando Carrão Macedo (Figura 29) em maio de 1994, a invenção do MCI com utilização de rotores helicoidais para combustíveis do tipo gasolina, álcool, GLP, hidrogênio, etc., supera os inconvenientes de desgastes prematuros de peças, baixa durabilidade, alto custo operacional e de manutenção dos motores convencionais. O motor é constituído de: (Figura 30 e Figura 31)



Figura 29 – O engenheiro Gabriel Fernando Carrão Macedo

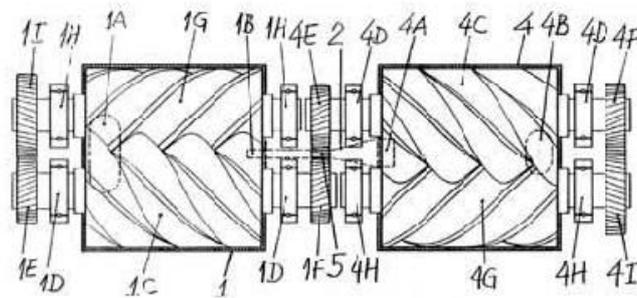


Figura 30 – Motor de Parafusos Helicoidais

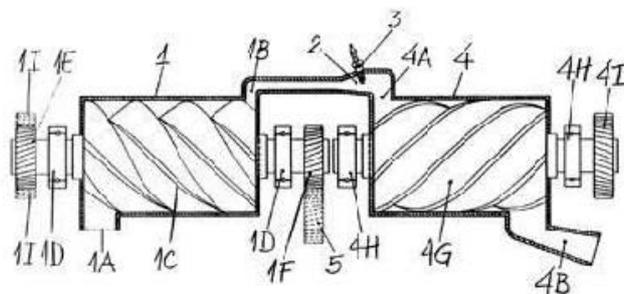


Figura 31 – Motor de Parafusos Helicoidais

onde:

câmara de compressão	(2) câmara de combustão
(1-A) bocal de admissão de ar e combustível que funciona através de carburador ou injeção direta	(3) vela de ignição
(1-B) de duto de saída de ar e combustível comprimidos	(4) câmara de expansão
(1-C) rotor macho	(4-A) bocal de admissão de gases
(1-D) mancais	(4-B) bocal de descarga
(1-E) engrenagem	(4-C) rotor
(1-F) engrenagem acionadora	(4-D) mancais
(1-G) rotor fêmea	(4-E) engrenagem movida
(1-H) mancais	(4-F) engrenagem pequena
(1-I) engrenagem	(4-G) rotor
	(4-H) mancais
	(4-I) engrenagem
	(5) engrenagem livre externa

O princípio de funcionamento do motor baseia-se no funcionamento dos compressores de ar com rotores helicoidais e se dá pela seguinte seqüência:

dá-se a partida através do motor de arranque elétrico acionado por uma bateria, acionando a engrenagem (1-E), o rotor macho (1-C) e a engrenagem (1-F).

o rotor macho (1-C) gira no sentido anti-horário (observador à esquerda), o rotor (1-G) gira no sentido horário e as engrenagens (1-E) e (1-F) giram no sentido anti-horário, a engrenagem (5) é acionada pela engrenagem (1-F) e transmitirá o movimento à engrenagem movida (4-E), que gira no sentido anti-horário, acionando o rotor (4-C) e a engrenagem (4-F), que também giram no sentido anti-horário, que finalmente aciona a engrenagem (4-I) e o rotor (4-G) no sentido anti-horário.

No caso de motor a gasolina, o ar e o combustível são admitidos através do bocal (1-A). Ao girarem os rotores macho (1-C) e fêmea (1-G) ocorre a compressão progressiva da mistura ar-combustível até o duto de saída (1-B). Na câmara de combustão (2), ocorre a centelha gerada pela vela (3), que provoca a explosão da mistura ar-combustível, saindo os gases pelo bocal de admissão (4-A).

Os gases de combustão pressurizados provocam o giro dos rotores (4-C) e (4-G) e conseqüentemente transformam energia térmica em trabalho.

Finalmente, os gases de combustão serão descarregados pelo bocal de descarga (4-B).

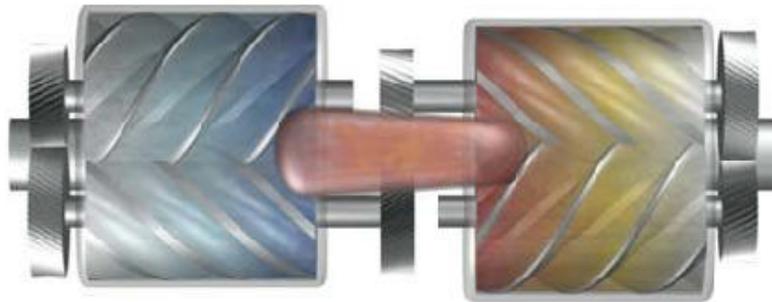


Figura 32 – Motor de Parafusos Helicoidais

Veículos Híbridos

Um veículo híbrido é um veículo que utiliza duas fontes de energia para se movimentar. Uma baseada em um motor elétrico e outra baseada em um motor térmico qualquer (turbina a gás, motor diesel, gasolina, Stirling e todos os modelos existentes no mercado).

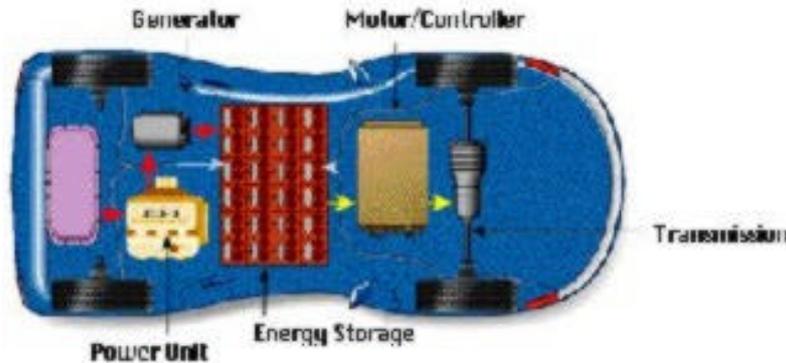


Figura 33 – Componentes de um Veículo Híbrido

O modo que armazena a energia elétrica é também uma das suas características principais e uma das que mais está se trabalhando nos últimos anos. Devido ao estado da tecnologia atual, é complicado armazenar grandes quantidades de energia elétrica, sendo que, devido a isso, a fonte principal de energia será o combustível que alimenta o motor térmico. O combustível armazena grande quantidade de energia em um volume pequeno, a qual é liberada pela combustão.

O veículo híbrido possui algumas vantagens interessantes, vindas da origem elétrica do movimento, como por exemplo:

Frenagem regenerativa, que contribui para minimizar a energia perdida nas frenagens habituais na condução do veículo;

Motor elétrico é mais pequeno, de acordo com a carga média conduzida, já que o este é o que suporta os picos de carga como nas acelerações ou simplesmente no percurso normal;

Grande diminuição do consumo, que pode chegar a 50% do consumo normal de um veículo;

Grande diminuição das emissões, já que o motor térmico trabalha em regimes altamente eficientes e consome menos combustível;

Emprego de combustíveis alternativos, reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis devido a grande variedade de motores térmicos que se pode usar.

Seleção dos Componentes

A seleção dos componentes de um veículo híbrido é feita sobre todas as opções viáveis, atendendo a configuração escolhida para o automóvel. Deve-se definir as características, dando-se prioridade para a potência ou a economia, na hora de escolher a configuração e os componentes do veículo.

1 – O motor elétrico

O motor elétrico e seu mecanismo de controle é uma das peças fundamentais de qualquer veículo híbrido. Deve ser capaz de gerar eletricidade ou de gerar potência mecânica de

maneira que se ajuste rapidamente as necessidades do veículo de forma que sua eficiência seja a mais alta possível.

As duas possibilidades existentes para motores elétricos são: corrente contínua ou corrente alternada.

Motores de Corrente Contínua. São os motores utilizados no passado para as aplicações de velocidade variável em motores elétricos. No entanto, graças aos avanços da eletrônica de potência hoje pode-se utilizar os motores de corrente alternada. O controle dos motores de corrente contínua é feito de forma fácil e simples e seus controles são muito baratos. Mas por um outro lado, os motores de corrente contínua são grandes e pesados.

Motores de Corrente Alternada. Este tipo de motor necessita para sua utilização e controle em velocidades variáveis, instrumentos de eletrônica de potência que podem variar a frequência da energia que chega ao motor. Devido a isso, os controladores desse tipo de motor, são em geral mais caros que os de corrente contínua mas esse tipo de motor possui a vantagem de ser pequeno e rápido.

2 – Armazenamento da Energia Elétrica

Baterias. As baterias constituem o sistema clássico de armazenamento de energia. Nelas ocorrem reações químicas reversíveis.

Vantagens: A tecnologia de fabricação das baterias é uma tecnologia madura, em comparação com as outras opções.

Desvantagens: As baterias formadas por novas ligas são extremamente caras e completamente inviáveis para sua comercialização na atualidade. E ainda, a maioria das baterias possui um ciclo de vida muito mais curto que o tipo de veículo que necessitamos, o que necessitaria de uma substituição muito onerosa.

Volantes de Inércia. Os volantes de inércia são discos com uma alta massa específica nos quais armazena-se energia cinética em forma de rotação. Funcionam como um rotor de um motor gerando eletricidade pelo uso da energia cinética de rotação. Os discos armazenam energia em forma de energia cinética quando se aumenta a velocidade de giro dos mesmos.

Vantagens: Essa forma de armazenar energia é muito eficiente. Além disso é capaz de entregar a energia que possui armazenada de forma mais rápida que as baterias.

Desvantagens: Atualmente esses tipos de sistemas têm todavia uma baixa energia específica e existem problemas de segurança devido a possibilidade de que se perca o controle sobre o disco que permanece girando a altas rotações. Outros tipos de problemas gerados são os relativos aos efeitos giroscópicos do disco que podem desestabilizar o veículo.

Ultracondensadores. Armazenar a energia por meio de condensadores permite uma descarga muito rápida da mesma, que é o ideal para as mudanças bruscas de velocidade.

Vantagens: Os condensadores não possuem partes móveis e, por isso, tem uma grande vida. Além disso, têm a capacidade de armazenar energia rapidamente, o que faz que sejam o sistema ideal de armazenamento de energia durante as frenagens bruscas e acelerações.

Desvantagens: Os condensadores tem muito pouca capacidade e a tecnologia para grandes condensadores se encontra muito pouco avançada.

3 – Os motores Térmicos

O motor térmico de um veículo híbrido converte a energia química liberada na combustão de um combustível em energia cinética que aproveitamos para mover as rodas ou para gerar energia elétrica.

Honda Insight

[Honda Insight Web Site](http://www.hondainsight.com) (www.hondainsight.com)

A Honda possui uma história de produzir novas tecnologias, eficientes e de baixas emissões poluidoras. Pode-se recordar o Civic CVCC 1973, que aprovou as normas de emissão da Califórnia, ou o 1,3 Civic CRX 1984, que obteve impressionantes resultados com um motor a gasolina.

Com o Insight, a Honda se adianta em produzir um veículo com baixíssimas emissões, ótima eficiência de combustão e média potência.



Figura 34 – O Honda Insight

Dados do veículo:

Tipo de veículo	Coupe - Tração Dianteira, 3 portas, 2 pessoas
Consumo (cidade/estrada)	25,93 / 29,76 km/litro
Aceleração (0 a 95 km.h)	11 seg
Transmissão	Manual de 5 velocidades
Construção	Compostos de Alumínio
Peso Total	856 kg
Preço com Ar-Condicionado	US\$ 20.080

Em resumo, o Insight é um veículo híbrido (gasolina-elétrico) com emissões ultra baixas, com um rendimento altíssimo. Está equipado com um motor de 1.0 litros e um motor elétrico compacto. O automóvel não dever ser ligado ao resto dos automóveis

elétricos, porque as baterias são recarregadas ao se frear e pelo motor a gasolina. Sua autonomia pode chegar a 965km com um tanque.

Fuel Cell – Célula de Combustível

[14]

Nos últimos seis anos, a DaimlerChrysler AG investiu pesado para possibilitar que a célula de combustível se tornasse custo/compatível para produção em massa. Vários obstáculos tiveram que ser ultrapassados como barreiras tecnológicas, financeiras e, a mais importante delas, a barreira psicológica do consumidor.

Já, há muito tempo que martela-se na tecla dos híbridos, dos EV (veículos elétricos) e fuel cell. A patente, registrada em 1998, pela Ballard Power Systems (canadense) foi alardeada nos quatro cantos do planeta. A partir dali, seria possível reformar (extrair as moléculas de hidrogênio dos combustíveis e canalizar somente os elétrons) em linha.



Figura 35 – Metanol, a vida dos novos propulsores Fuel Cell - abastecimento convencional nos postos de serviço.

Uma seqüência lógica comum: o carro é abastecido no posto com gasolina, álcool, metanol ou diesel (Figura 35), o combustível é admitido na célula, os elétrons são canalizados e, acumulados, provocam uma descarga elétrica que alimenta o ou os motores do automóvel. Naquele momento, qualquer dúvida existente quanto às possibilidades comerciais da célula de combustível deixaram de existir. Todos acreditam que a célula de combustível é o futuro mais provável.

Crendo tanto quanto todos os outros fabricantes de automóveis, a DaimlerChrysler AG, que tinha no Classe A uma mula (protótipo em fase de desenvolvimento) perfeita para a adaptação deste tipo de trem de força, concentrou investimentos no desenvolvimento desta tecnologia, atualmente, seis anos mais tarde, somando mais de dois bilhões de marcos alemães (1,3 bilhões de dólares).

A evolução começou a transparecer quando surgiram os conceitos NECAR (Novo Carro Elétrico) 3 e 4. A quantidade de platina necessária à produção da peça chave do

reformador, a PEM (membrana que permite a troca de elétrons), caiu drasticamente, permitindo que um conjunto (PEM) capaz de produzir 35 kW (aproximadamente 50 Hp) pudesse ser construído por apenas 3 mil dólares. Nada mau se comparado aos 35-40 mil dólares necessários até aquela data.

Porém, a célula de combustível não apresenta dificuldades apenas quanto ao custo das PEM, a reformação do combustível deve acontecer a uma temperatura muito baixa, de forma a otimizar ao máximo o processo de obtenção de energia elétrica. Esse obstáculo, antes muito mais expressivo, vem sendo transposto e a temperatura de trabalho subindo – hoje em menos 20 graus centígrados – minimizando o peso do próprio veículo, outra grande barreira.

Reduzir o peso dos conjuntos propulsores, tem sido, ultimamente, o maior desafio dos pesquisadores e fabricantes. A questão se compõe de: obter uma relação peso/potência favorável e evitar ao máximo a redução de peso calcada em materiais super caros, como: titânio, magnésio, compostos de alumínio, cerâmicas e polímeros como o nylon Zytel da Dupon, altamente resistente e quase indeformável – utilizado na grande maioria dos coletores de admissão dos motores novos.

Então, chegou o NECAR 5 (Figura 36), como o próprio nome diz: a quinta versão NECAR. Nesta versão, a novidade é que todo o trem de força pode se alojado sob o assoalho (sanduíche) do Classe A, permitindo que todo o espaço, tanto para os passageiros quanto para bagagem pudesse ser mantido. Outra vantagem sobre a versão 4, é que, agora, o conjunto propulsor pesa menos 35% e é mais eficiente 50% - uma reviravolta na relação peso/potência.



Figura 36 – NECAR 5 - A última versão do conceito Fuel Cell DaimlerChrysler.

Nas condições atuais, afirmam os responsáveis pelo projeto e o próprio Jürgen E. Schrempp – CEO da DaimlerChrysler AG –, o NECAR 5 poderá rodar entre 500-600 km com os 50 litros de metanol que podem ser armazenados num tanque comum do Classe A.

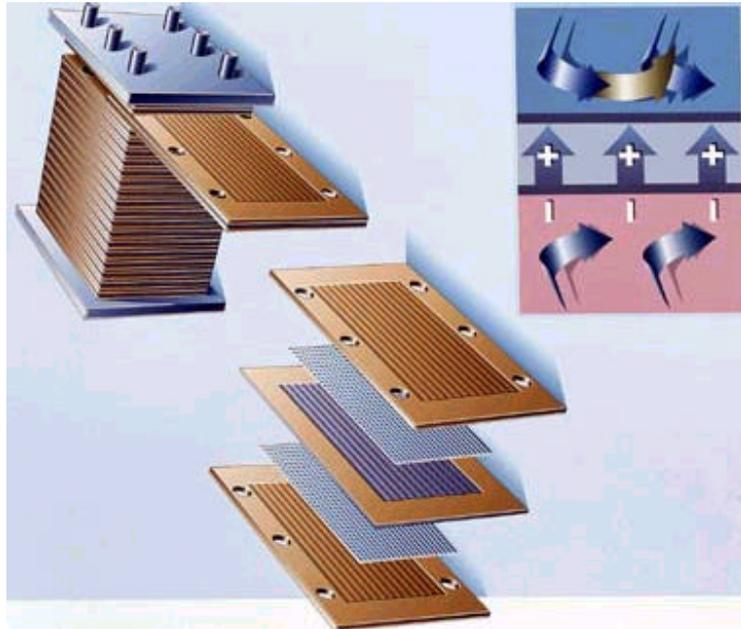


Figura 37 – A seqüência de filtragem dos elétrons. A PEM permite a passagem dos prótons e faz os elétrons se acumularem.

A empresa promete uma versão fuel cell para o uso urbano em coletivos para 2004.

A Ford também já pôs as mangas de fora e apresentou uma versão pronta para a produção do Focus FCV. Embora similar ao conceito da arqui rival de dupla nacionalidade, o Focus é uma solução imediata, porém, com maiores limitações quanto ao desempenho e consumo. A Ford planeja a comercialização do seu primeiro fuel cell também para 2004.

Ciclos de Potência

Ciclo de Carnot

Para entender melhor, colocaremos aqui, de forma resumida o ciclo desenvolvido por um motor térmico, teórico, chamado Ciclo de Carnot. Sadi Carnot (1796-1832) publicou em 1823 uma brochura intitulada “Reflexões sobre a potência motriz do fogo”. Enunciava aí um ciclo ideal que, partindo da transformação de gases perfeitos, deveria ter um rendimento de aproximadamente 72%, o qual, aliás, nunca atingido por um motor térmico real. Conhecido com o nome de “Ciclo de Carnot”, este ciclo teórico se compõe das seguintes fases:

- 12 = compressão isotérmica
- 23 = compressão adiabática
- 34 = expansão isotérmica
- 41 = expansão adiabática (Figura 38)

O ciclo de Carnot não pode ser objeto de nenhuma realização na prática. Pode ser descrito teoricamente da seguinte maneira:

Primeira fase: compressão isotérmica

uma massa gasosa é introduzida no cilindro e depois comprimida pelo pistão “temperatura constante”, sendo o cilindro esfriado durante esta fase.

Segunda fase: compressão adiabática

Sendo interrompido o resfriamento do cilindro, continua-se a compressão rapidamente de modo que nenhuma troca de calor tenha lugar entre o gás e o cilindro.

Terceira fase: expansão isotérmica

Ao passo que, durante a compressão isotérmica o cilindro deve ser resfriado, durante a expansão isotérmica, este mesmo cilindro exige aquecimento para tornar a temperatura constante.

Quarta fase: expansão adiabática

Continuando o repouso, faz-se cessar o reaquecimento do cilindro para que essa fase se efetue sem troca de calor com o cilindro e que a massa gasosa retome o volume e a pressão que possuía no início da primeira fase

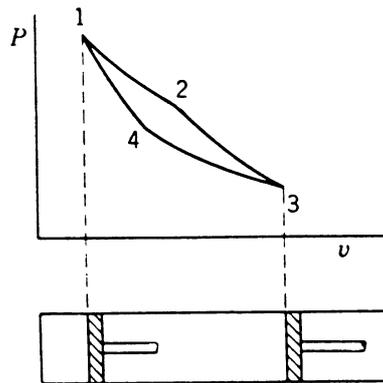


Figura 38 - Diagrama do Ciclo de Carnot

O rendimento de um ciclo de Carnot depende somente das temperaturas nas quais o calor é fornecido ou rejeitado, dado pela relação:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2}$$

O rendimento também pode ser expresso pela relação de pressão ou taxa de compressão, durante os processos isoentrópicos:

$$\text{taxa de pressão isoentrópica} \quad r_{ps} = \frac{P_1}{P_4} = \frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{\frac{k}{1-k}}$$

$$\text{taxa de compressão isoentrópica } r_{vs} = \frac{V_4}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{T_3}{T_2} \right)^{1/(1-k)}$$

$$\text{Portanto: } \eta_t = 1 - r_{ps}^{(1-k)/k} = 1 - r_{vs}^{1-k}$$

Ciclos de Otto e Diesel

Nos dois processos que ocorrem nos Motores de Combustão Interna Alternativos de dois e quatro tempos, podemos ainda incluir uma subdivisão:

1) MCI trabalhando a quatro tempos:

- a) Ciclo Otto;
- b) Ciclo Diesel.

2) MCI trabalhando a dois tempos:

- a) Ciclo Otto;
- b) Ciclo Diesel.

Ciclo Otto

(Volume Constante)

Em 1862, Beau de Rochas enunciou o ciclo de “quatro tempos” que, primeiramente, o alemão Otto aplicara a um motor térmico, de onde surgiu em algumas obras a designação de “Ciclo Otto”. Teoricamente, o ciclo enuncia-se da seguinte maneira: o enchimento do cilindro efetua-se com a pressão atmosférica, pois que:

- AB = Compressão adiabática;
- BC = Elevação brutal da pressão em volume constante;
- CD = Expansão adiabática;
- DA = Baixa brutal de pressão em volume constante.

O esvaziamento do cilindro se efetua em pressão atmosférica.

Primeira fase: **compressão adiabática**

Efetuada de maneira adiabática, a compressão leva os gases a uma certa temperatura, contudo insuficiente para provocar a inflamação.

Segunda fase: **transformação isovolumétrica**

Introduz-se uma fonte quente destinada a elevar instantaneamente a pressão dos gases (faísca elétrica) sem que o pistão tenha tempo de deslocar-se durante essa transformação de volume constante.

Terceira fase: **expansão adiabática**

Terminada a inflamação, a massa gasosa distende-se de maneira adiabática e o fim dessa distensão corresponde a uma baixa sensível de pressão.

Quarta fase: **expansão isocórica**

A abertura do escapamento provoca uma baixa brutal de pressão que leva o interior do cilindro à pressão atmosférica enquanto o pistão bascular em ponto morto (volume constante).

Na Figura 39, observa-se os diagramas teórico e real do ciclo em questão. Observe-se que o ciclo real é sensivelmente diferente.

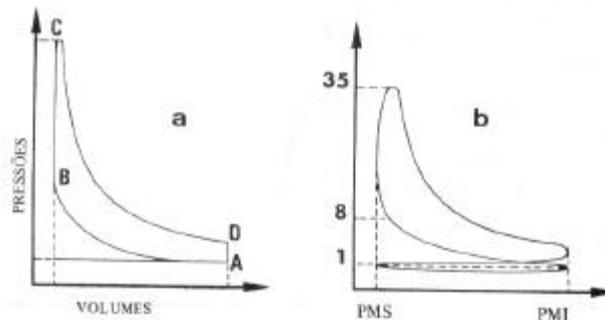


Figura 39 - Diagramas do ciclo de Beau de Rochas.
A) diagrama teórico B) diagrama real.

O ciclo se aproxima do motor de combustão interna de ignição por centelha. Determina-se o rendimento térmico desse ciclo como se segue, admitindo-se constante o calor específico do ar:

$$\eta_t = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_A}{T_B} = 1 - (r_v)^{1-k} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$$

Ciclo Quatro Tempos, Ciclo Otto

O ciclo segue os tempos indicados anteriormente sendo que, no 1º tempo, admite-se uma mistura ar-combustível. A combustão é iniciada por uma centelha (*spark*), gerada no interior do cilindro por uma vela (*spark plug*). A mistura ar-combustível, que é feita pelo carburador ou pela injeção eletrônica, é preparada aproximadamente nas seguintes proporções:

- 14,8:1 - 14,8 partes de ar para 1 parte de gasolina
- 9,0:1 - 9,0 partes de ar para 1 parte de álcool

A mistura entra no cilindro à pressão atmosférica e é comprimida pelo cilindro. Nos motores a gasolina, a taxa de compressão é, aproximadamente, de 9:1 e, nos a álcool, 12:1.

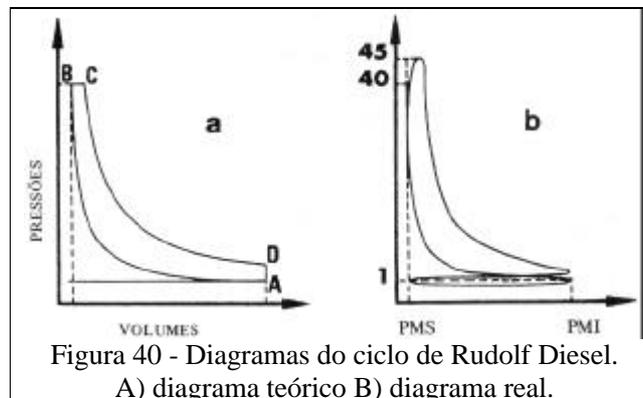
Ciclo Dois Tempos, Ciclo Otto

São utilizados principalmente em veículos motores de duas rodas, motocicletas. São motores mais simples e leves, possuem cerca de 70 a 90% de potência a mais do que um motor de quatro tempos de mesma cilindrada. Em contrapartida são mais poluentes (devido à queima de óleo lubrificante que é misturado ao combustível no carter durante a pré-compressão).

Ciclo de Diesel

(Volume Constante)

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



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

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

Primeira fase: **compressão adiabática**

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

Segunda fase: **compressão isobárica**

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

Terceira fase: **expansão adiabática**

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

Quarta fase: **baixa de pressão**

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

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

O rendimento do ciclo Diesel é dado pela relação:

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

É importante notar que, no ciclo Diesel, a razão de compressão isoentrópica é maior do que a razão de expansão isoentrópica.

Ciclo Quatro Tempos, Ciclo Diesel

O engenheiro Rudolf Diesel (1858-1913), em fevereiro de 1892 publicou em Berlim um fascículo intitulado “Teoria e construção de um motor térmico racional” onde expunha suas idéias para a realização prática do ciclo de Carnot. Ainda na Alemanha, começa a construção do seu primeiro motor em Ausburgo. Em 1897, utilizando um já melhorado (monocilíndrico, diâmetro de 250mm, curso de 400mm e consumo de 247g de combustível por cavalo e por hora), desenvolve 20HP a 172rpm e rendimento térmico de 26,2% (os motores a gasolina rendiam 20% e os a vapor 10%).

O motor desenvolvido, trabalhando a quatro tempos, possui basicamente duas grandes diferenças de um motor a gasolina:

O motor aspira e comprime apenas ar.

Um sistema de injeção dosa, distribui e pulveriza o combustível em direção dos cilindros. O combustível inflama-se ao entrar em contato com o ar, fortemente aquecido pela compressão. Utiliza taxa de compressão de, aproximadamente 19:1.

Ciclo Dois Tempos, Ciclo Diesel

O motor Diesel a dois tempos não trabalha com uma pré-compressão no carter. Ele tem carregamento forçado por meio de um compressor volumétrico (rotativo) ou de uma ventoinha. Possui também um sistema de lubrificação semelhante aos motores de quatro tempos, isto é, leva óleo no carter e possui bomba de óleo, filtro, etc. Vê-se, na Figura 88, um exemplo de motor Diesel dois tempos.

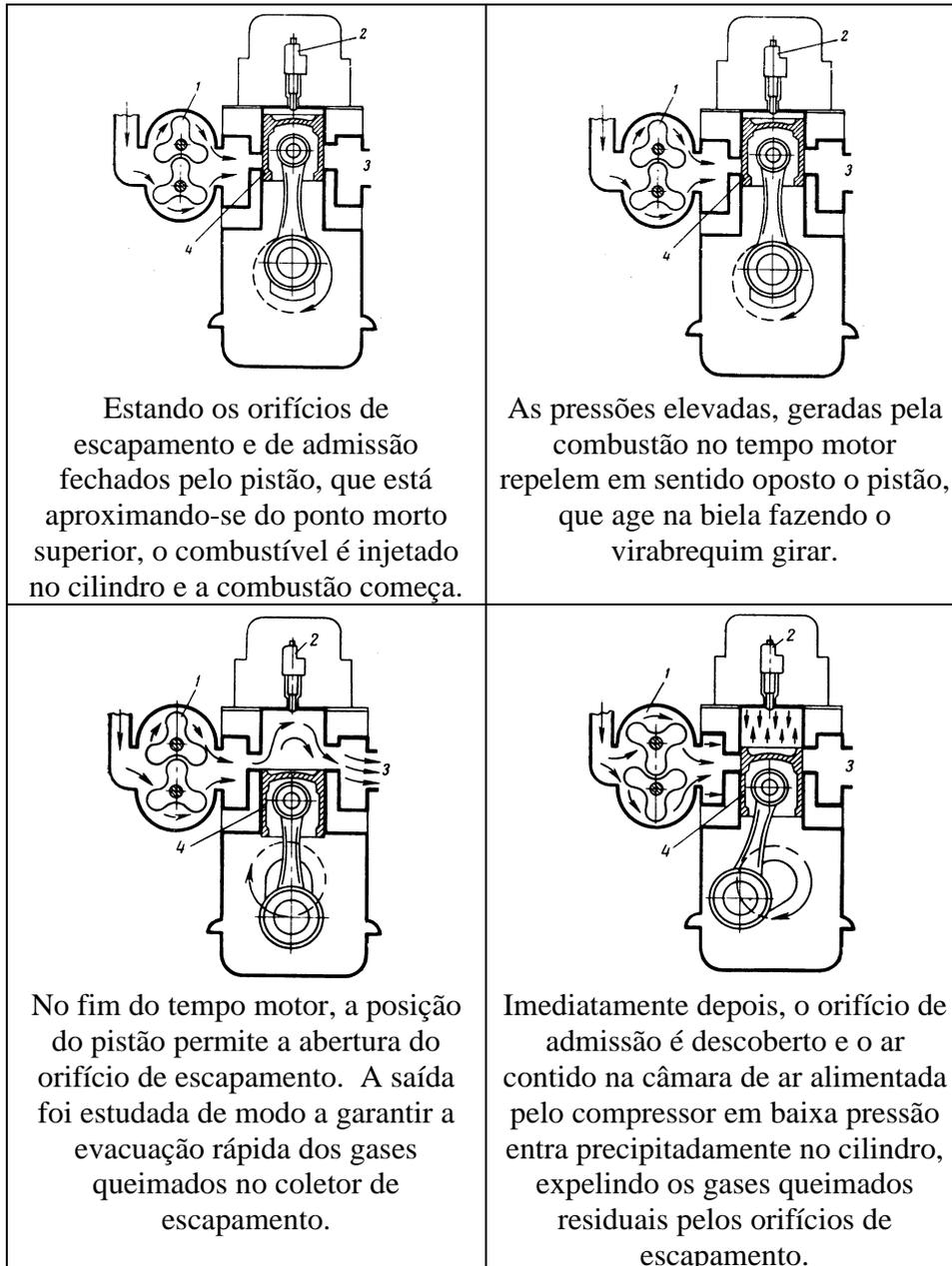
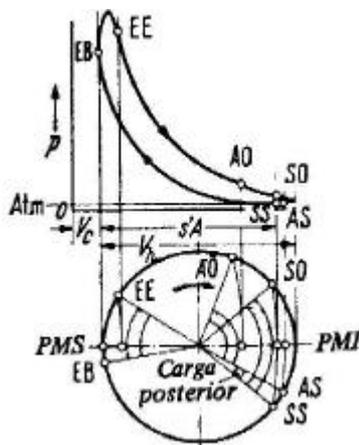


Figura 41 - Esquema de funcionamento do Motor Diesel 2 tempos.

Vantagens: O motor de dois tempos, com o mesmo dimensionamento e rpm, dá uma maior potência que o motor de quatro tempos e o torque é mais uniforme. Faltam os órgãos de distribuição dos cilindros, substituídos pelos pistões, combinados com as fendas de escape e combustão, assim como as de carga.

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



SO = fendas de exaustão abertas; SS = fendas fechadas. De AO a SO expandem-se os gases de combustão; de AS até SS carga posterior (às vezes a alta pressão). Pode-se tomar como valores médios para os pontos de distribuição: AO ~ 70° antes do PMI; AS 30° depois do PMI; SO = 40° antes do PMI; SS ~ 40° depois do PMI. EB = início da injeção; EE = fim da injeção.

Figura 42 - Gráfico de pressões em um motor Diesel de dois tempos com válvula de admissão no cabeçote e fendas de exaustão por fluxo contínuo.

Ciclo Misto

O ciclo misto aplica-se aos motores Diesel modernos. A Figura 90, que segue, mostra os diagramas teórico e real.

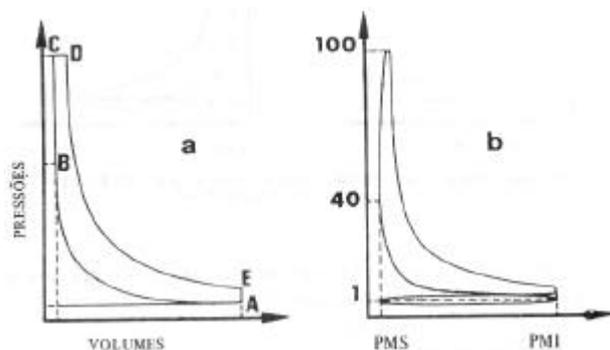


Figura 43 - Diagramas do ciclo Misto.
A) diagrama teórico B) diagrama real.

O ciclo misto teórico enuncia-se: o enchimento e o escapamento efetua-se à pressão atmosférica.

- AB = compressão adiabática
- BC = combustão isovolumétrica (isocórica);
- CD = expansão isobárica;
- DE = expansão adiabática;
- EA = queda rápida na pressão.

A comparação dos diagramas mostra bem que esses dois ciclos se assemelham no plano prático; é que na realidade o motor a gasolina não é completamente de pressão variável e de volume constante, mas se aproxima do ciclo misto porque a “explosão” dos gases é apenas uma combustão rápida, mas não instantânea

Principais Componentes dos MCI

Os principais componentes de um MCI são colocados em seguida:

peças fixas

bloco do motor	<i>cylinder crankcase</i>
cabeçote	<i>head</i>
cárter	<i>crankcase</i>

peças móveis

pistão (êmbolo)	<i>piston</i>
biela	<i>connecting rod</i>
árvore de manivelas (virabrequim)	<i>camshaft</i>
válvulas de admissão e escape	<i>intake and exhaust valves</i>
árvore de comando de válvulas	<i>camshaft</i>

Bloco do Motor

É o motor propriamente dito, onde são usinados os cilindros ou os furos para a colocação destes; os motores arrefecidos a ar levam cilindros aletados, possuindo, geralmente, bloco baixo permitindo que os cilindros fiquem expostos à circulação do ar de arrefecimento.

Na parte inferior do bloco estão os alojamentos dos mancais centrais, onde se apóia o eixo de manivelas (virabrequim). Nos motores horizontais (e.g., do fusca), de cilindros opostos, o eixo de manivelas acha-se no centro do bloco, este, por sua vez, é composto de duas partes justapostas, afixadas por parafusos. Figura 44.

Cabeçote

É uma espécie de tampa do motor contra a qual o pistão comprime a mistura, no caso do ciclo Otto, ou o ar, no caso do Diesel. Geralmente possui furos com roscas onde são instaladas as velas de ignição ou os bicos injetores e onde estão instaladas as válvulas de admissão e escape com os respectivos dutos. Figura 45.

Carter

Parte inferior do bloco, cobrindo os componentes inferiores do motor, e onde está depositado o óleo lubrificante.

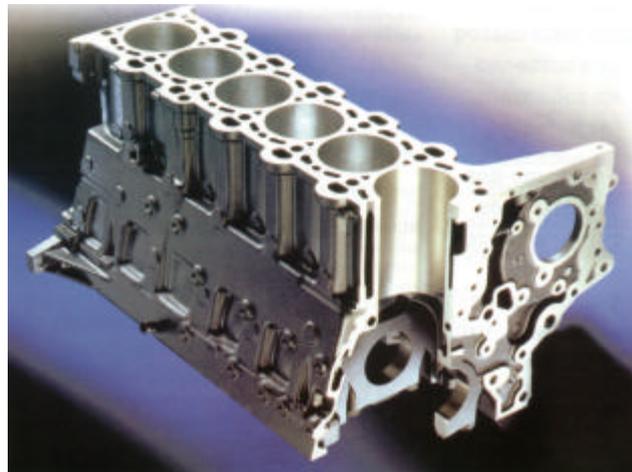


Figura 44 - Bloco do Motor

Pistão

É a parte móvel da câmara de combustão, recebe a força de expansão dos gases queimados, transmitido-a à biela, por intermédio de um pino de aço (pino do pistão). É em geral fabricado em liga de alumínio. Figura 93.

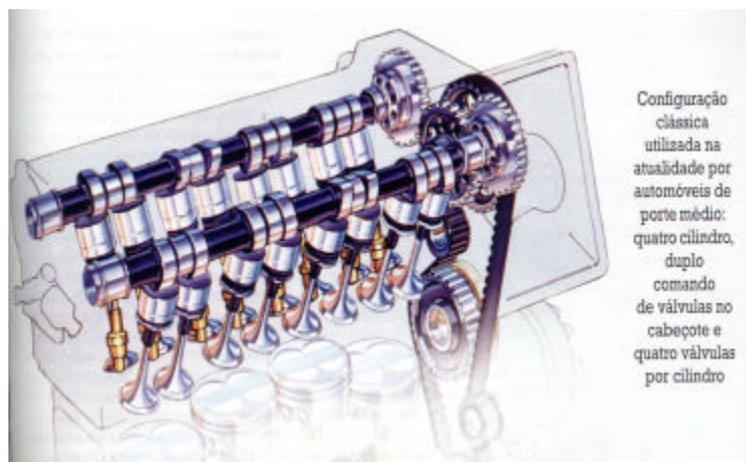


Figura 45 - Cabeçote

Biela

Braço de ligação entre o pistão e o eixo de manivelas; recebe o impulso do pistão, transmitindo-o ao eixo de manivelas (virabrequim). É importante salientar que o conjunto biela-virabrequim transforma o movimento retilíneo do pistão em movimento rotativo do virabrequim. Figura 46.

Virabrequim

(Eixo de manivelas, Árvore de manivelas)

Eixo motor propriamente dito, o qual, na maioria das vezes, é instalado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe imprimem movimento. Figura 94.

Eixo Comando de Válvulas

(Árvore Comando da Distribuição)

A função deste eixo é abrir as válvulas de admissão e escape, respectivamente, nos tempos de admissão e escapamento. É acionado pelo eixo de manivelas, através de engrenagem, corrente ou ainda, correia dentada. É dotado de ressaltos que elevam o conjunto: tucho, haste, balancim abrindo as válvulas no momento oportuno. Figura 46.

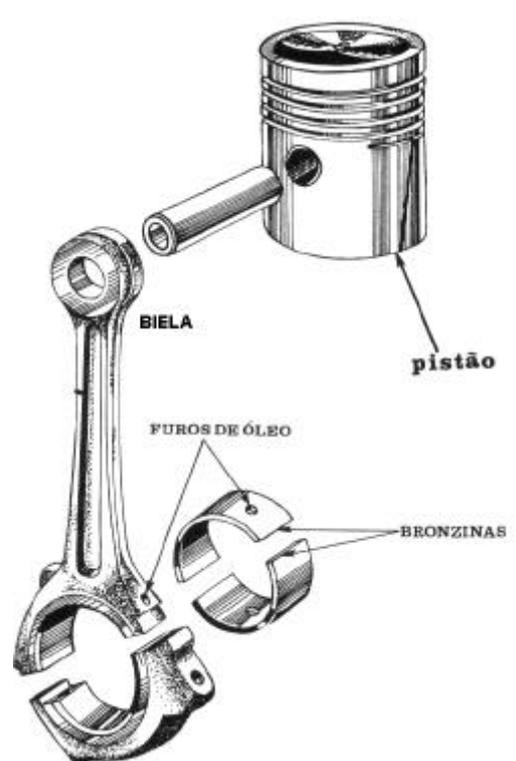


Figura 46 – Biela, Pistão e Bronzinas

Válvulas

Existem dois tipos: de admissão e de escape. A primeira abre-se para permitir a entrada da mistura combustível/ar (ou ar puro, conforme o caso) no interior do cilindro. A outra, de escape, abre-se para dar saída aos gases queimados. Figura 94.

Conjunto de Acionamento das Válvulas

Compreende o tucho e uma haste, que o interliga ao balancim, apoiando-se diretamente sobre a válvula. No momento em que o eixo comando de válvulas gira, o ressalto deste aciona o tucho, que por sua vez move a haste, fazendo com que o balancim transmita o movimento à válvula, abrindo-a. Há um conjunto destes (tucho, haste, balancim) para cada ressalto, i. e., um para cada válvula, tanto de admissão quanto de escape. Figura 47.

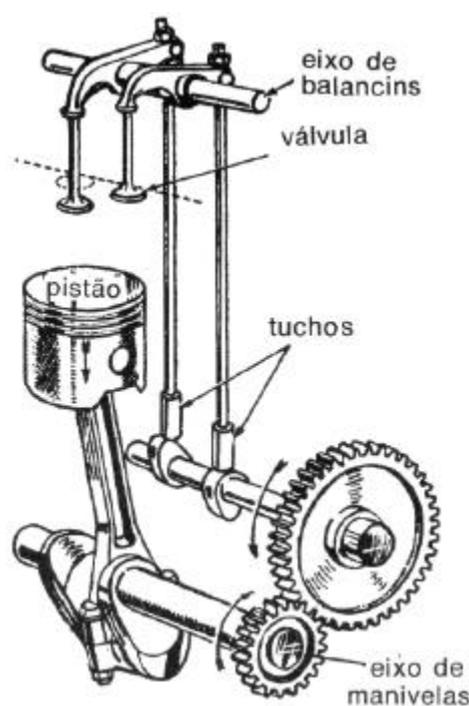


Figura 47 - Eixos, tuchos e válvulas

Combustíveis

Diesel

Motores 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 cuidados 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
Número de Cetana	ASTM D-613	No mínimo 40, exceto em clima frio e serviço em marcha lenta por períodos prolongados, quando será necessário número 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.

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.

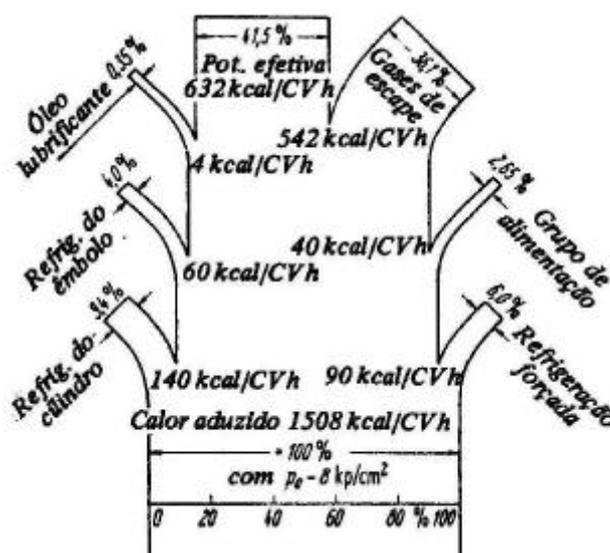


Figura 48 - Diagrama de fluxo térmico de um motor Diesel de grande cilindrada com turbocompressor acionado pelos gases de escape e refrigeração forçada.

Na figura acima, o calor aduzido de 1508 kcal/cv.h com $p_e=8 \text{ kp/cm}^2$. 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.

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 se estabelece 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 turbo-alimentador 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.

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_2 , 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, a partir do próximo ano, 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 produzirem 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:

Descrição		Emissão (gr/HP.h)
HC	Hidrocarbonetos não queimados	2,40
NO _x	Óxidos de Nitrogênio como N ₂	11,49
CO	Monóxido de Carbono	0,40
PM	Material particulado	0,50
SO ₂	Anidrido Sulfuroso	0,62
CO ₂	Gás Carbônico	510
N ₂	Nitrogênio	3.400
O ₂	Oxigênio	490
H ₂ O	Vapor d' água	180

A 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, injetado 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 sincronizado 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 imprevisto 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 no seu peso. O limite inferior, é o da pressão atmosférica. As limitações de Volume são consequência 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.

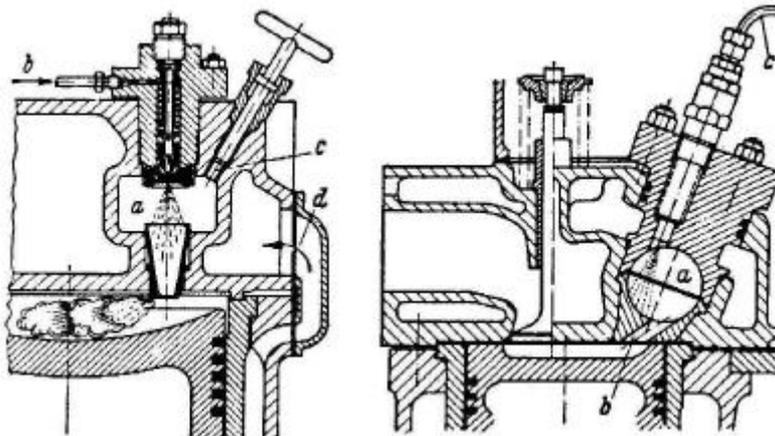
Para avaliar o nível da conversão de energia no motor, há processos de cálculo que permitem determinar as limitações acima.

Injeção de Combustível

O ponto mais importante é a formação da mistura mediante a injeção do combustível diretamente antes e durante a auto-ignição e combustão na carga de ar fortemente comprimida. Durante seu desenvolvimento 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 sobrepressão 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.

Figura 49 – Tipos de Injeção Indireta

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 muito 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 de entrada. A formação da mistura é acelerada e melhorada quando o ar de carburação executa um movimento rápido em relação à névoa do combustível. Com 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 utilizam o processo de injeção direta de combustível, em virtude do seu melhor rendimento térmico.

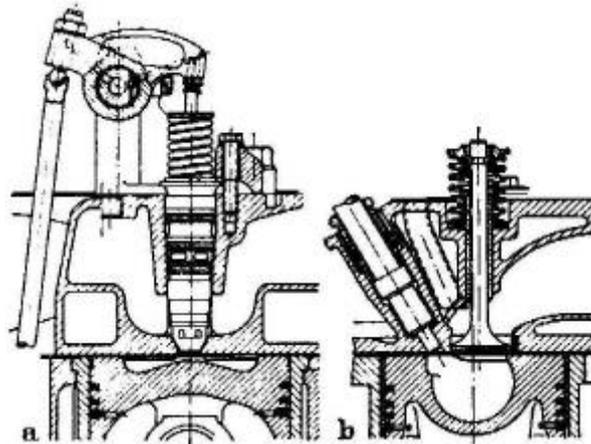
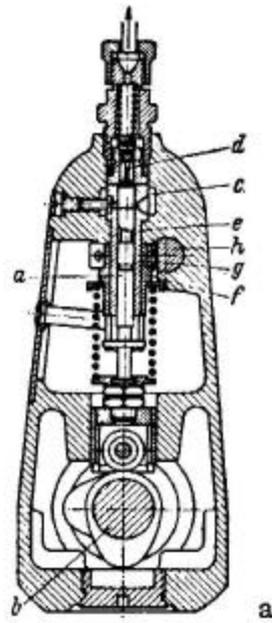


Figura 50 – Processos de injeção direta. a = injeção direta no ar parado (Cummins); b = jato sobre a cabeça do pistão com câmara de mistura térmica (processo MAN-M).

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.

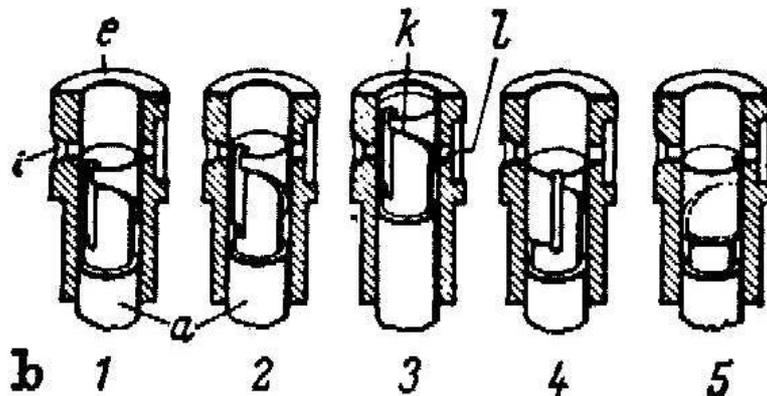
As bombas injetoras, rotativas ou em linha, para que funcionem, são instaladas no motor sincronizadas com os movimentos da árvore de manivelas. Ao processo de instalação da bomba injetora no motor dá-se o nome de *calagem da bomba*. Cada fabricante de motor adota, segundo o projeto de cada modelo que 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 = êmbolo da bomba (pistão);
b = eixo de cames;
c = câmara aspirante;
d = válvula de pressão;
e = cilindro da bomba;
f = luva de regulação com coroa dentada *g*;
h = cremalheira de regulação.

a = seção transversal da bomba

Figura 51 – Bomba injetora em linha com regulação de aresta chanfrada (Bosch).



Posições

- 1 = êmbolo da bomba *a* no ponto morto inferior;
- 2 = com movimento de *a* para cima fecha-se o furo de afluxo *i*;
- 3 = com o prolongamento do movimento para cima o ressalto de acionamento *k* abre o furo de refluxo *l*;
- 4 = diminuição do volume de fluxo girando o êmbolo da bomba *a* mediante a cremalheira de regulação *h* e a luva de regulação *f*; esta tem, em sua parte inferior, uma fenda longitudinal na qual penetra uma peça transversal de *a*;
- 5 = volume zero

Figura 52 – Posições dos pistões de 1 a 5 para a regulação da quantidade injetada para a Bomba Injetora (Bosch).

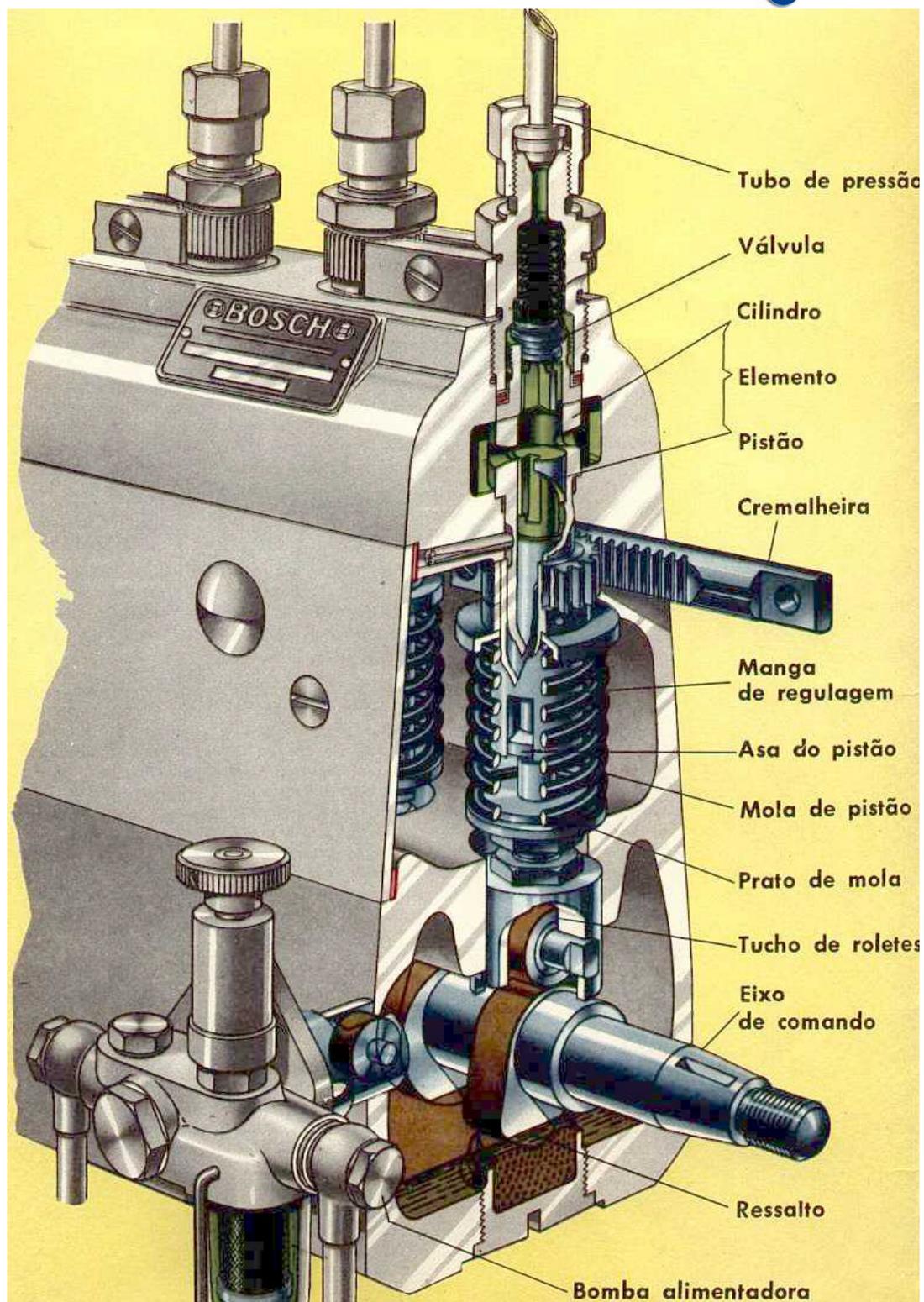


Figura 53 – Bomba Injetora BOSCH em linha com bomba alimentadora.

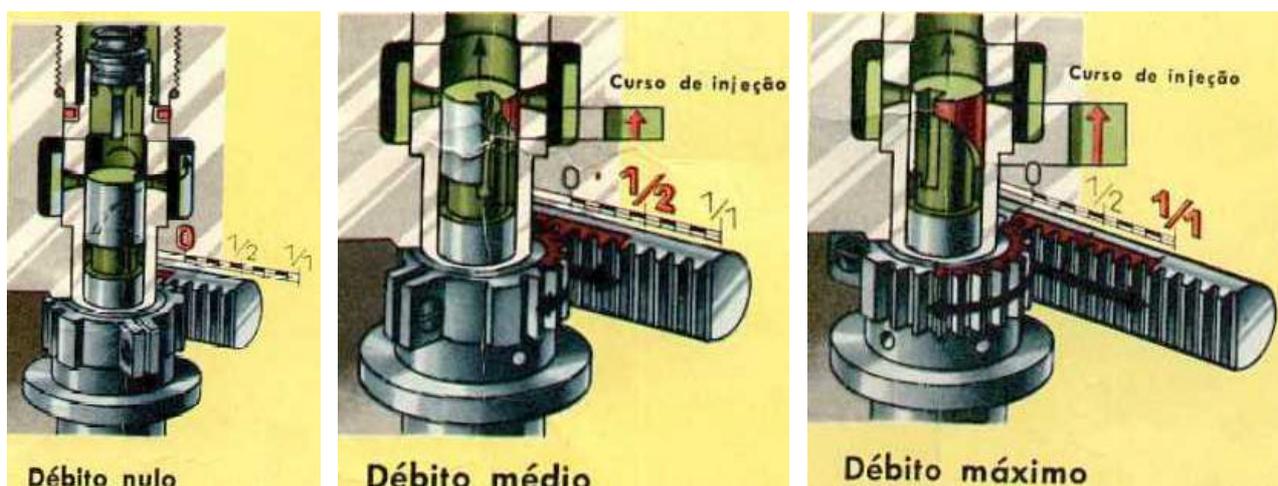


Figura 54 – Posições da Bomba de Injeção

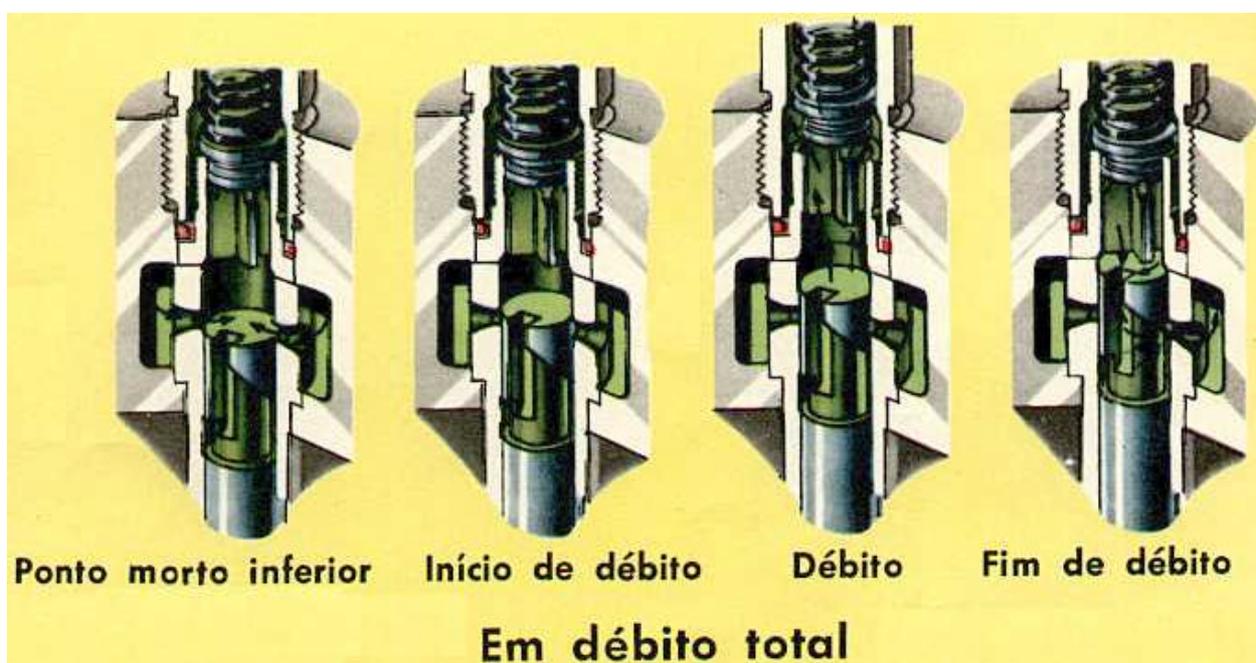
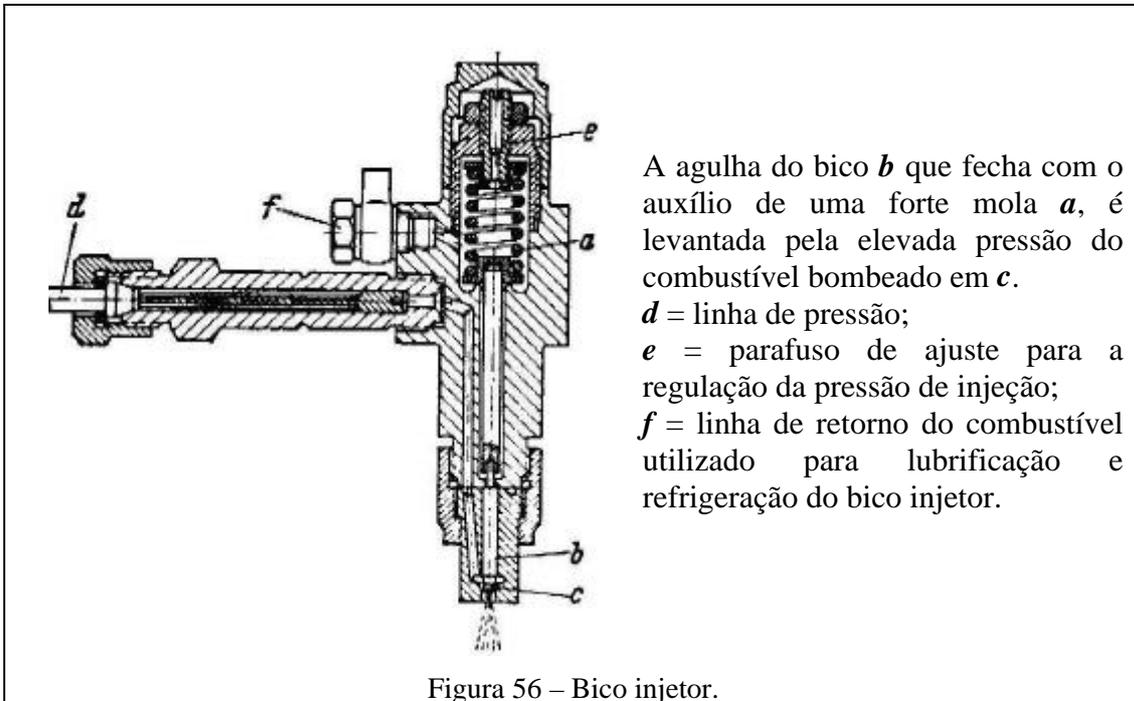


Figura 55 – Posições da Bomba de Injeção

- b) **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 ao impacto da 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.

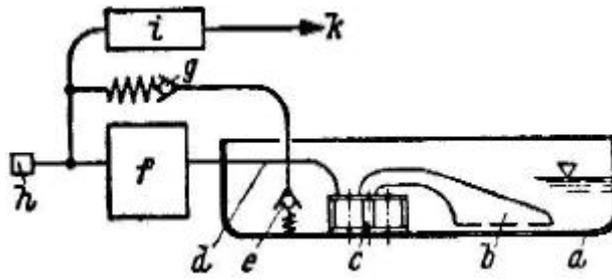


Lubrificação do Motor

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 Cavalo-hora, conforme o projeto do fabricante.

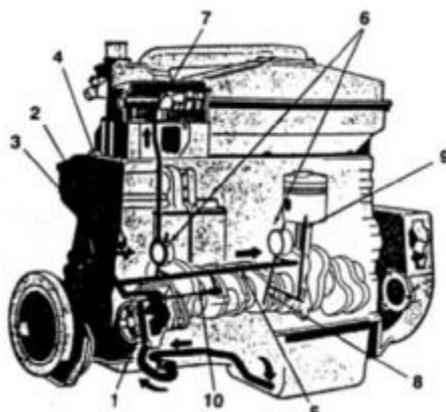
Os componentes básicos do sistema de lubrificação, encontrados em todos os motores Diesel, são:

- Carter 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.



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.

Figura 57 – Sistema de lubrificação:



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.

Figura 58 – Sistema de Lubrificação do motor Cummins Série N/NT/NTA-855.

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.

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 / cv.h para os motores refrigerados a água e de 100 kcal / cv.h nos motores com refrigeração a ar.

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.

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	
	Mínim o	Máxim o	Mínim o	Máxim o
5 w	-	4.000	-	-
10 w	6.000	<	-	-
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 Fahrenheit. 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:

a) **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.

b) **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.

c) **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.

d) **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.

e) **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.

f) **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 reside 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
Atioxidantes ou inibidores de oxidação	Compostos orgânicos contendo enxofre, fósforo ou nitrogênio, tais como aminas, sulfetos, hidroxissulfetos, fenóis. Metais, como estanho, zinco ou bário, freqüentemente incorporados
Anticorrosivos, preventivos da corrosão ou “venenos” catalíticos	Compostos orgânicos contendo enxofre ativo, fósforo ou nitrogênio, tais como sulfetos, sais metálicos do ácido trifosfórico e cêras sulfuradas.
Detergentes	Compostos organo-metálicos, tais como fosfatos, alcoolatos, fenolatos. Sabões de elevado peso molecular, contendo metais como magnésio, bário e estanho.
Dispersantes	Compostos organo-metálicos, tais como naftenatos e sulfonatos. Sais orgânicos contendo metais com cálcio, cobalto e estrôncio.
Agentes de pressão extrema	Compostos de fósforo, como fosfato tricresílico, óleo de banha sulfurado, compostos halogenados. Sabões de chumbo, tais como naftenato de chumbo.
Preventivos contra a ferrugem	Aminas, óleos gordurosos e certos ácidos graxos. Derivados halogenados de certos ácidos graxos. Sulfonatos.
Redutores do ponto de	Produtos de condensação de alto peso molecular, tais como

fluidez	fenóis condensados com cera clorada. Polímeros de metacrilato.
Reforçadores do índice de viscosidade	Olefinas ou iso-olefinas polimerizadas. Polímeros butílicos, ésteres de celulose, borracha hidrogenada.
Inibidores de espuma	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*.

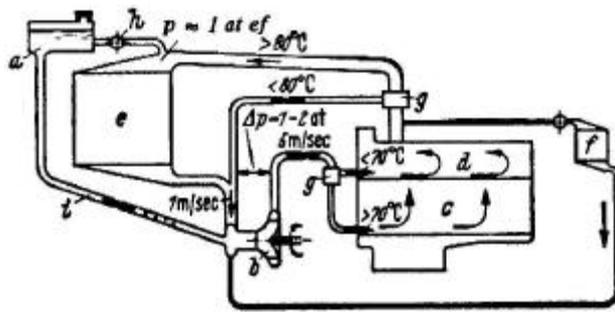
Os fabricantes de motores Diesel, também, como resultado das pesquisas que realizam, chegaram a desenvolver composições de óleos que hoje são encontradas a venda no mercado. A Caterpillar desenvolveu o óleo que hoje é comercializado com a classificação denominada “*Série – 3*”, que é indicado para uso em motores Diesel turboalimentados 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.

Refrigeração (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).

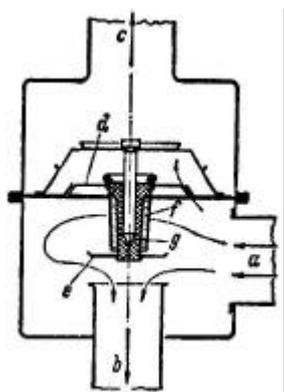


a = reservatório com tampa de alimentação (tanque de expansão); **b** = bomba centrífuga; **c** = bloco do motor; **d** = cabeçote(s) dos cilindros; **e** = radiador; **f** = trocador de calor; **g** = válvula termostática; **h** = válvula manual para alimentação; **i** = eliminação das bolhas de vapor.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

Figura 59 – Sistema de Refrigeração (ou de arrefecimento) do motor diesel (típico)

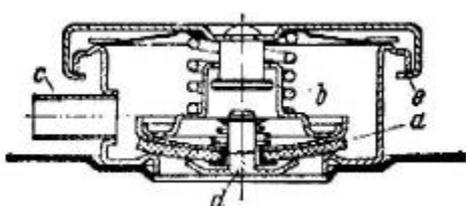
É falsa a idéia de que a eliminação da válvula termostática melhora as condições de refrigeração do motor. Muitos mecânicos, ao se verem diante de problemas de superaquecimento do motor, eliminam a válvula termostática, permitindo que o motor trabalhe abaixo das temperaturas ideais em condições de poucas 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.



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.

Figura 60 – Válvula Termostática para regulação do fluxo de água de refrigeração.



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

Figura 61 – Tampa do Radiador com válvulas de sobrepressão e de depressão.

A 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.

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.

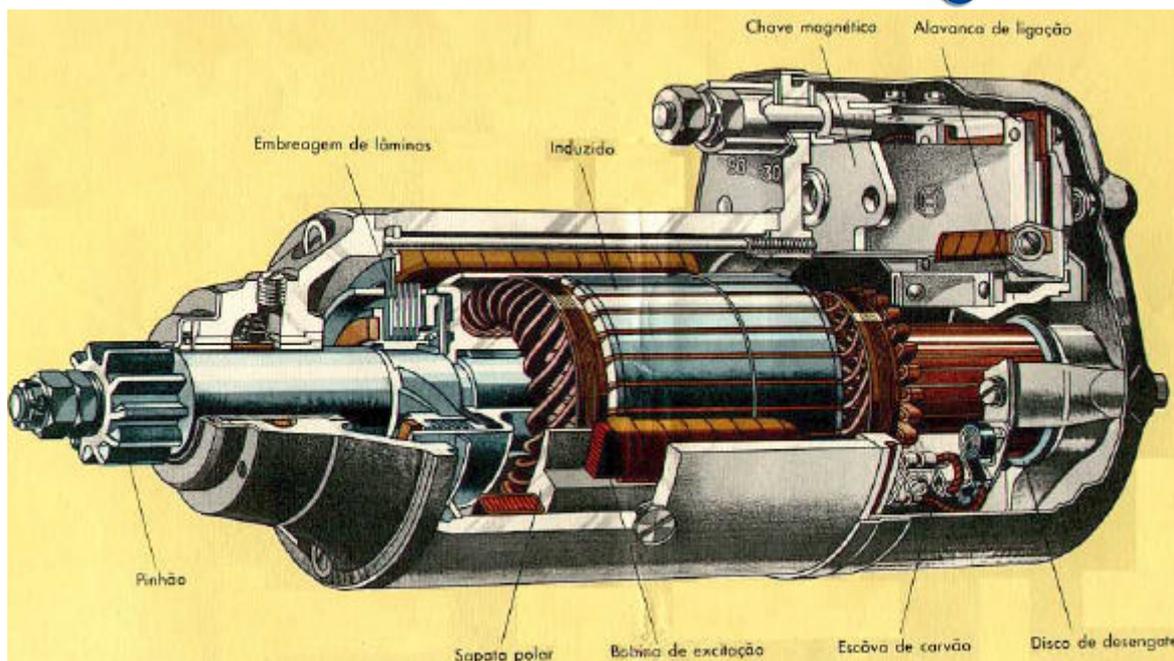


Figura 62 – Motor de Partida

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.

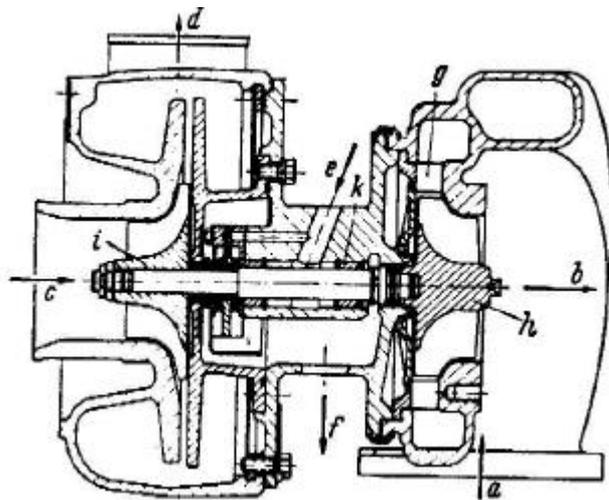
Turboalimentador

Normalmente denominado por turbina, supercharger, turbo-compressor, sobrealimentador, supercarregador, 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 turbo-alimentados, o rendimento volumétrico, em geral, é maior que 1.



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.

Figura 63 – Turbo-alimentador para motor Diesel.

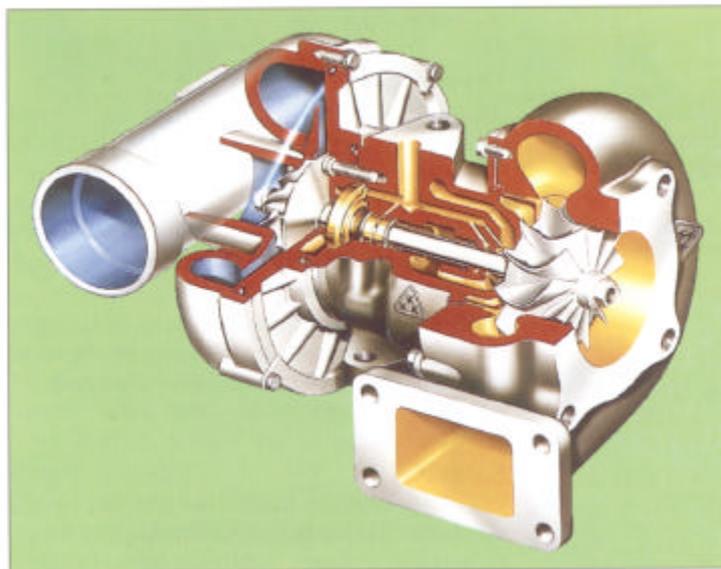


Figura 64 – Turbo-alimentador para motor Diesel.

O turboalimentador trabalha em rotações muito 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 sobrepessão 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 turboalimentador, 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 turboalimentador 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 turboalimentador 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 turboalimentador 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 turboalimentador 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 turboalimentador 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 turboalimentador 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 recondiçõamentos e, na maioria dos casos, não dispõem do equipamento para balanceamento do conjunto rotativo, fazendo com que a durabilidade de um turboalimentador recondiçõado 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, pode consumir o óleo lubrificante do cárter sem que seja percebido. Em geral, o mau funcionamento do turboalimentador 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 turboalimentador. 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.

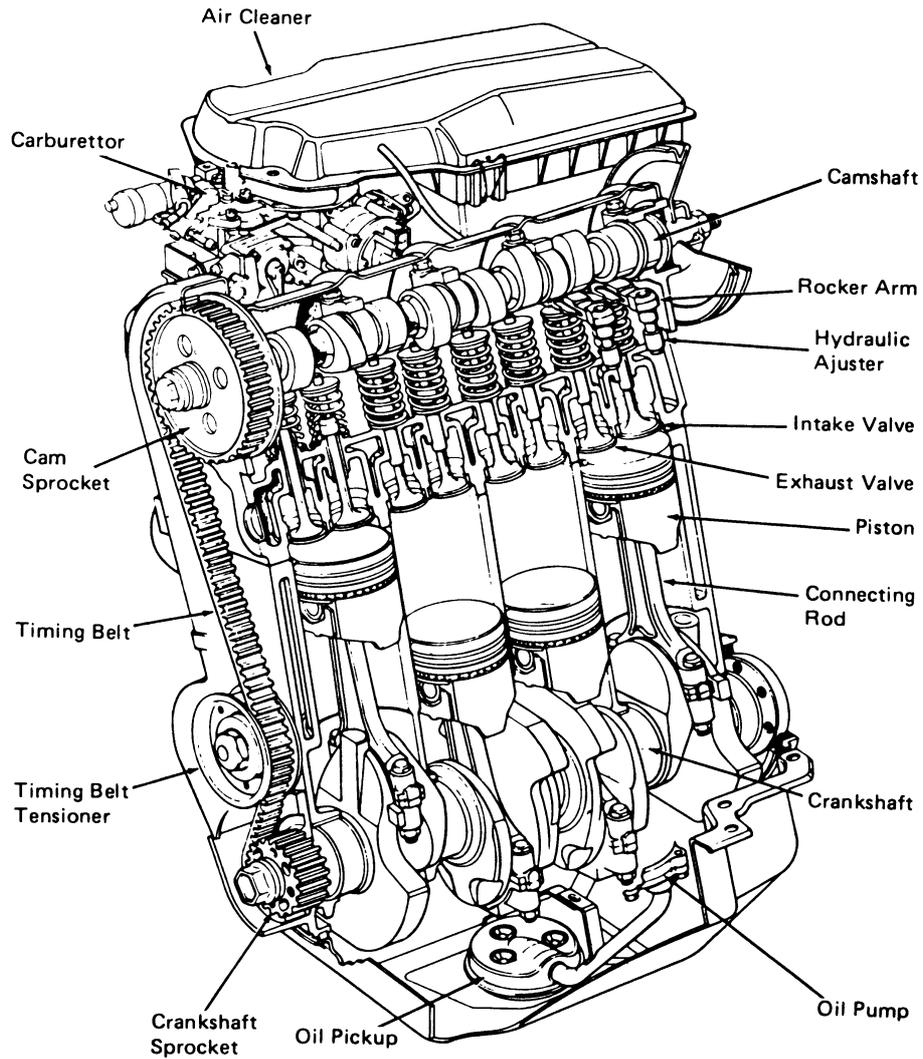


Figura 65 - Seção longitudinal de um motor OHC Chrysler 4 cilindros de 2,2 litros

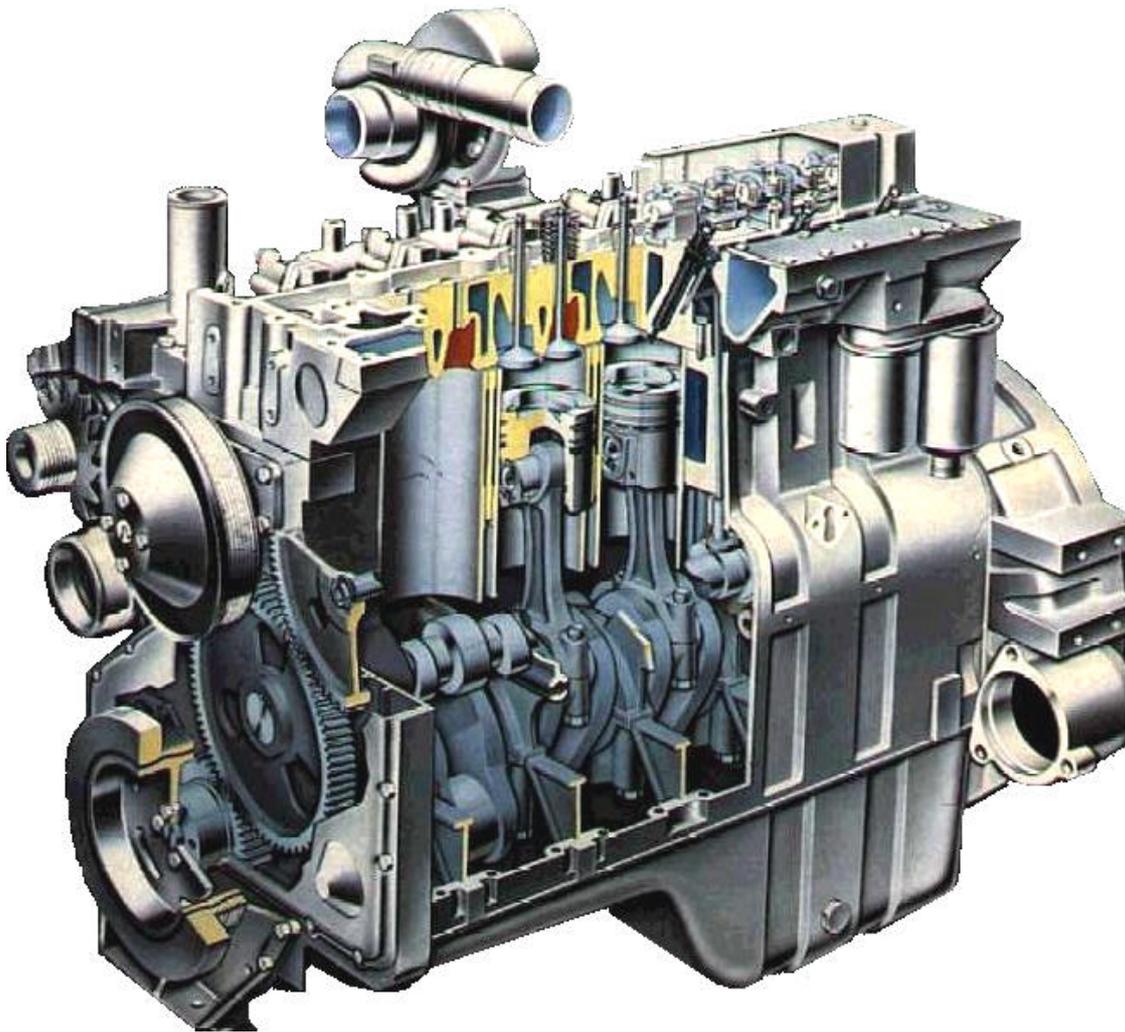


Figura 66 - Motor Diesel Cummins modelo 6CT8.3, em corte.

Termos importantes (Português - Inglês)

01 Motor 8 cilindros em V com injeção de combustível e Ignição por Centelha	01 eight-cylinder V (vee) fuel-injection spark-ignition engine
02 ventilador	02 fan line
03 embreagem do ventilador para acionamento viscoso	03 fan clutch for viscous drive
04 distribuidor da ignição (distribuidor) com avanço à vácuo	04 ignition distributor (distributor) with vacuum timing control
05 tambor de corrente dupla	05 double roller chain
06 mancal do eixo de cames	06 camshaft bearing
07 duto de respiro	07 air-bleed duct
08 tubo de óleo para lubrificação do eixo de cames	08 oil pipe for camshaft lubrication
09 eixo de cames, comando de válvulas no cabeçote	09 camshaft, an overhead camshaft
10 borboleta do carburador	10 venturi throat
11 silenciador interno	11 intake silencer (absorption silencer, Am. Absorption muffler)
12 regulador de pressão de combustível	12 fuel pressure regulator
13 coletor de admissão	13 inlet manifold
14 bloco do motor	14 cylinder crankcase
15 volante	15 flywheel
16 biela	16 connecting rod (piston rod)
17 mancal de linha do virabrequim	17 cover of crankshaft bearing
18 virabrequim	18 crankshaft
19 parafuso de drenagem do óleo	19 oil bleeder screw (oil drain plug)
20 corrente da bomba de óleo	20 roller chain of oil pump drive
21 abafador de vibração	21 vibration damper
22 eixo motor do distribuidor	22 distributor shaft for the ignition distributor (distributor)

Bibliografia da Parte I

1. VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E. *Fundamentos da Termodinâmica Clássica*. Editora Campus. São Paulo. SP. 4ª Edição.
2. CHVETZ, I.; KONDAK, M.; KIRAKOVSKI, N. et ali. *Térmica General - Termodinamica Tecnica, Turbinas y Maquinas Alternativas* Editorial Hispano Europea. Barcelona. España. 1975.
3. BOULANGER, P. e ADAM, B. *Motores Diesel*. Editora Hemus São Paulo. SP.
4. METAL LEVE S.A. *Manual Técnico*. Metal Leve S.A. São Paulo. SP. 5ª Edição.
5. FLÔRES, L.F.V. *Sistemas Térmicos I*. Apostila. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. MG.
6. SOUZA, Z. *Elementos de Máquinas Térmicas*. Editora Campus-EFEI. Rio de Janeiro. RJ. 1980
7. BOSH, ROBERT GmbH. *Automotive Handbook*. 1993. Alemanha.
8. STONE, RICHARD. *Internal Combustion Engines*. Society of Automotive Engineers, Inc. 2nd Edition. 1993. Warrendale, PA, USA.
9. GOLDEMBERG, J. & MACEDO, I. *The Brazilian Alcohol Program – Na Overview*. Energy for Sustainable Development, Vol. 1, n.º 1, pp. 17 – 22.
10. SENÇO, Dr. WLASTERMILER. *Pequena História dos Transportes*. Revista Pesquisa e Tecnológica FEI
11. 1996 Grolier Multimedia Encyclopedia, Grolier Electronic Publishing Inc.
12. Microsoft Encarta Encyclopedia 1996
13. Agência New Motor @ge de Notícias: por Guto Ostergrenn (www.newmotorage.com/Tecno/3-22.html)
14. Sites da Internet:

Combustível

- ⇒ www.shell.com.br/produtos/bv.htm
- ⇒ www.fisica.net/quimica/resumo28.htm
- ⇒ www.br-petrobras.com.br/br/prod/octa.html
- ⇒ www.petrobras.com.br/conpet/gasolina.html
- ⇒ www.mct.gov.br/gabin/cpmg/climate/programa/prt/alcohol4.htm

Mecânica Automóvel

- ⇒ www.mecanico.com.br
- ⇒ www.agentel.com.br
- ⇒ www.mecanicaonline.com.br

Crash Test Information

- ⇒ www.nhtsa.dot.gov
- ⇒ <http://gwuva.gwu.edu/ncac>
- ⇒ www.insure.com/auto/index.html
- ⇒ www.fia.com/tourisme/safety/safint.thm
- ⇒ www.osa.go.jp/2e.html
- ⇒ www.webmotors.com.br
- ⇒ www.newmorage.com

Treinamentos, Fitas de Vídeo, Curiosidades

- ⇒ www.setenet.com.br Fitas de vídeo, apostilas
- ⇒ www.saebr.org.br Livros, revistas, cursos e mini-cursos
- ⇒ www.sae.org Livros, revistas, artigos técnicos
- ⇒ www.centrotecnico.com.br Treinamento
- ⇒ www.oficinabrasil.com.br Revista especializada
- ⇒ www.duvidacrue.com.br Informações interessantes

Peças e Acessórios

- ⇒ www.dana.com.br Autopeças
- ⇒ www.ngk.com.br Velas e cabos de ignição, sensores de detonação e oxigênio
- ⇒ www.delphiauto.com Autopeças, sistemas e sub-sistemas automotivos
- ⇒ www.eaton.com.br Cabeçotes, embreagens, transmissões
- ⇒ www.fras-le.com.br Pastilhas e lonas de freio
- ⇒ www.fmaster.com.br Freios

- ⇒ www.ksp.com.br Autopeças, pistões, cilindros de alumínio
- ⇒ www.lukbrasil.com.br Embreagens, sistemas hidráulicos/eletrônicos de acionamento
- ⇒ www.bosh.de Autopeças elétricas, injeção eletrônica, eletrônica embarcada
- ⇒ www.sabo.com.br Autopeças, retentores, juntas e mangueiras
- ⇒ www.sachs.de Embreagens e sistemas de suspensão
- ⇒ www.siemens.com.br Sist. de injeção, controles de emissões, conversores catalíticos
- ⇒ www.sifco.com.br Eixos dianteiros, virabrequins, coroa, pinhões, semi-eixos
- ⇒ www.kncl.krupp.com.br Componentes de motor, suspensão, direção e transmissão
- ⇒ www.trw.com Componentes de direção, suspensão, cintos de segurança, airbags
- ⇒ www.visteon.com.br Sistemas e sub-sistemas automotivos
- ⇒ www.zf.group.com.br Sistemas de transmissões e direções
- ⇒ www.elliott-turbocharger.com Sistemas de sobre-alimentação

Motores Especiais

Wankel

- ⇒ www.monito.com/wankel
- ⇒ www.wankel-rotary.com

QuasiTurbine

- ⇒ www.quasiturbine.com
- ⇒ <http://qurbine.com>
- ⇒ <http://vibration.qurbine.com>
- ⇒ <http://vehicle.qurbine.com>
- ⇒ <http://transportation.qurbine.com>
- ⇒ <http://pump.qurbine.com>
- ⇒ <http://power.qurbine.com>
- ⇒ <http://pneumatic.qurbine.com>
- ⇒ <http://motor.qurbine.com>
- ⇒ <http://hydrogen.qurbine.com>
- ⇒ <http://hybrid.qurbine.com>
- ⇒ <http://gasoline.qurbine.com>
- ⇒ <http://engine.qurbine.com>
- ⇒ <http://diesel.qurbine.com>
- ⇒ <http://compressor.qurbine.com>
- ⇒ <http://turbinesolution.com>
- ⇒ <http://www.turbinesolution.com>
- ⇒ <http://zerovibration.com>
- ⇒ <http://vehicle.zerovibration.com>
- ⇒ <http://transportation.zerovibration.com>
- ⇒ <http://qurbine.zerovibration.com>
- ⇒ <http://quasiturbine.zerovibration.com>
- ⇒ <http://pump.zerovibration.com>
- ⇒ <http://power.zerovibration.com>
- ⇒ <http://pneumatic.zerovibration.com>

- ⇒ <http://motor.zerovibration.com>
- ⇒ <http://hydrogen.zerovibration.com>
- ⇒ <http://hybrid.zerovibration.com>
- ⇒ <http://gasoline.zerovibration.com>
- ⇒ <http://engine.zerovibration.com>
- ⇒ <http://diesel.zerovibration.com>
- ⇒ <http://compressor.zerovibration.com>
- ⇒ <http://pureinvention.com>
- ⇒ <http://www.pureinvention.com>
- ⇒ <http://inventionplus.com>
- ⇒ <http://www.inventionplus.com>
- ⇒ <http://superoriginal.com>
- ⇒ <http://www.superoriginal.com>
- ⇒ <http://ultrainnovation.com>
- ⇒ <http://www.ultrainnovation.com>

Motor de Parafusos Helicoidais

- ⇒ www.motorgabriel.com.br

Motor Alternativo-Rotativo

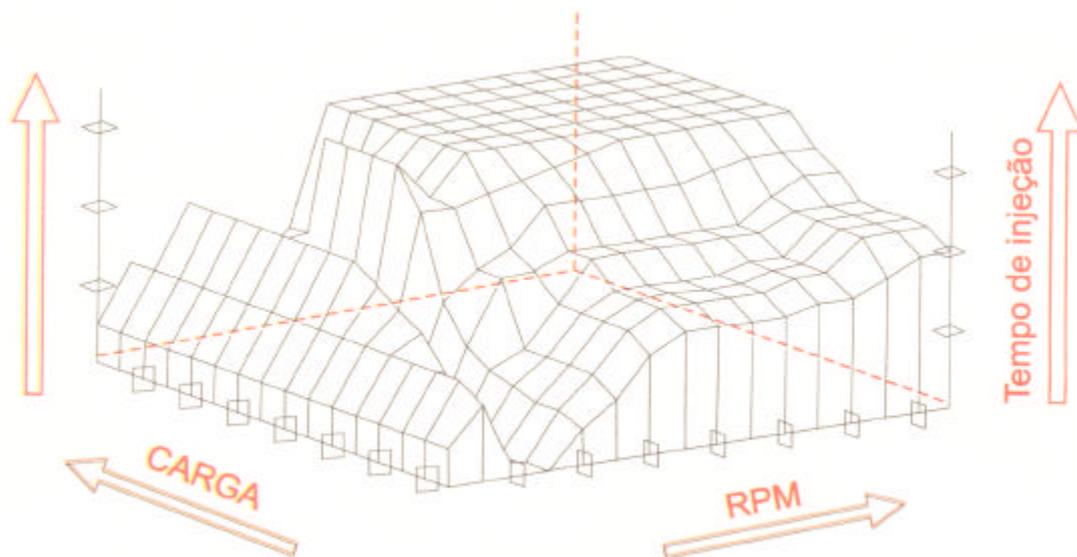
- ⇒ <http://members.tripod.com/~roteng/rsp.html>

Montadoras

 <p>www.gm.com.br</p>	 <p>www.honda.com.br</p>
 <p>www.citroen.com.br</p>	 <p>www.jeepcom.br</p>
 <p>www.dodge.com.br</p>	 <p>www.kiamotors.com.br</p>
 <p>www.ferraribrasil.com.br</p>	 <p>www.mazda.com.br</p>
 <p>www.fiat.com.br</p>	 <p>www.mercedes-benz.com.br</p>
 <p>www.ford.com.br</p>	 <p>www.mitsubishimotors.com.br</p>
 <p>www.nissan.com.br</p>	 <p>www.suzuki.com.br</p>
 <p>www.peugeot.com.br</p>	 <p>www.toyota.com.br</p>
 <p>www.renault.com.br</p>	 <p>www.troller.com.br</p>
 <p>www.volvo.com.br</p>	

	www.volkswagen.com.br
 www.subaru.com.br	 www.chrysler.com
 Rolls-Royce www.rolls-royceandbentley.co.uk	 www.daimlerchrysler.com
 <hr/> WORLD OF ROVER www.rovercars.com	 www.cadillac.com
 www.audi.com	 www.jaguarvehicles.com
 The Ultimate Driving Machine www.bmw.com	 www.hyundai.com

PARTE II - INJEÇÃO ELETRÔNICA



Autor: Luciano Ferrari Pedroso
Orientador: Prof. Luiz Carlos Martinelli Jr.

Introdução

A função de um motor é transformar a energia contida no combustível que o alimenta em potência mecânica, capaz de movimentar o veículo. Para tanto, o combustível é queimado. No processo, a energia do combustível se transforma em calor, finalmente, em trabalho mecânico ou potência.

Nos motores de combustão interna a combustão, a queima de combustível, se dá no recinto fechado: a Câmara de combustão. Nela, é admitida uma mistura de ar e combustível, que é comprimida intensamente. No fim da compressão, o sistema de ignição fornece o calor necessário, por uma centelha da vela, dando início a combustão. A queima da mistura provoca o aumento da pressão dentro do cilindro, e gerando a força que impulsiona o pistão, fazendo girar o virabrequim.

Como pode-se ver na Figura 67, após a combustão o motor libera:

- **trabalho**, como potência, que movimenta o veículo;
- **gases resultantes da combustão** ou gases de escape, constituídos principalmente de água, dióxido de carbono, nitrogênio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos ou combustíveis não queimados e óxido de nitrogênio;
- **calor**, que é eliminado com o líquido do arrefecedor.

Desses elementos, o que interessa é o trabalho mecânico ou potência. Os outros dois são energia desperdiçada ou não aproveitada. Os gases de escape, além de transportar calor (perdas) são fontes de poluição, com componentes que agredem o meio ambiente. As necessidades básicas impostas aos motores modernos são: a obtenção da máxima potência com baixo consumo de combustível e menor nível de emissões de poluentes, compatíveis com tal potência.

Devido à rápida evolução dos motores dos automóveis o velho carburador já não supre as necessidades dos novos veículos, no que se refere à poluição, economia de combustível, potência, respostas rápidas nas acelerações, etc.

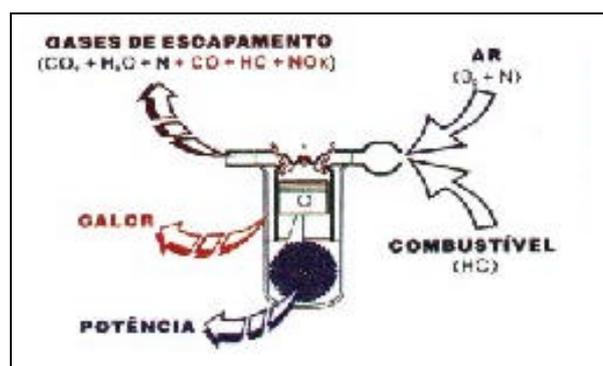


Figura 67 – O processo de transformação de energia

Devido a isso desenvolveu-se o sistema de Injeção Eletrônica de combustível, que têm por objetivo proporcionar ao motor melhor rendimento com mais economia, em todos os regimes de funcionamento. Para que o motor tenha um funcionamento suave, econômico e não contamine o ambiente, ele necessita receber a perfeita mistura ar/combustível em todas as faixas de rotação.

A Injeção Eletrônica é um sistema não acionado pelo motor mas comandado eletronicamente, que dosa o combustível, controlando a mistura ar/combustível em função das necessidades imediatas do motor. De modo semelhante, a ignição digital permite que o motor trabalhe com o seu ponto de ignição sincronizado com as diversas condições de funcionamento do motor.

Os sistemas de injeção eletrônica têm essa característica de permitir que o motor receba somente o volume de combustível que ele necessita. Com isso eles garantem:

- menor poluição;
- maior economia;
- melhor rendimento;
- partidas mais rápidas;
- não utilização do afogador.

O combustível normalmente utilizado em veículos com injeção eletrônica é a gasolina, que é uma mistura balanceada de centenas de solventes (classificados pela química em aromáticos, oleofínicos e saturados). Esta, para ser adequada deve apresentar as seguintes características:

1. entrar em combustão por meio da centelha da vela de ignição, de forma homogênea e progressiva, sem detonar, proporcionando bom desempenho do motor, sem ocasionar danos.
2. vaporizar-se completamente no interior da Câmara de combustão, e mistura com ar, de forma a queimar-se completamente e com mínimo de formação de resíduos.
3. vaporizar-se suficientemente com motor frio.
4. não ser corrosiva para evitar desgaste no motor.
5. não formar quantidade excessiva de poluentes durante a queima para não produzir danos ambientais.
6. oferecer segurança e possuir baixo teor de produtos tóxicos.

Para atender esses requisitos da qualidade, são especificados valores para determinadas características da gasolina que permitem a assegurar o correto funcionamento do motor, entre essas características estão:

A capacidade de evaporação da gasolina, denominada **Volatilidade**, é determinada pelas seguintes análises de laboratório: pressão de vapor e curva de destilação. Essa capacidade de vaporização deve produzir as quantidades correta de vapor do produto para atender as necessidades do motor, desde a partida até o seu completo aquecimento. Assim, a gasolina deve apresentar uma distribuição correta do conteúdo das frações leves, médias e pesadas de forma a fornecer as quantidades necessárias do produto, para que o motor funcione bem.

Pressão de vapor: Ao aquecer uma substância, sua pressão interna (pressão de vapor), aumenta até ultrapassar a pressão externa, no interior do equipamento onde está armazenada. Quando isso acontece, se inicia a valorização ou ebulição. Quanto mais baixa for a temperatura de início da valorização, maior será sua pressão de vapor e maiores devem ser os cuidados para o manuseio do produto.

Curva de destilação: A gasolina é composta de uma mistura com grande número de substâncias classificadas como leves, médias e pesadas, de acordo com seus pesos moleculares. Ao ser aquecida durante o processo de destilação, as substâncias vaporizam e em temperaturas diferentes, gerando uma curva de vaporização ou de destilação. Dentro

desse intervalo de temperatura, são identificadas em porcentagem do volume total em teste. A correta formulação da gasolina contribui para que o veículo tenha adequada dirigibilidade.

A **formação de depósito no motor** pode ser decorrente da existência de substâncias pastosa conhecida como *goma*, que depende da presença de substâncias que se oxidam com maior facilidade na gasolina, e das condições de sua utilização.

A *goma* é um produto com características diversas. É insolúvel na gasolina e de difícil vaporização. Normalmente gera resíduos que se depositam onde são formadas, sem deslocar. Portanto, podem se depositar tanque, no sistema de injeção e, nas válvulas de admissão ou na Câmara de combustão, causando problemas de desempenho. Para evitar sua formação deve se:

- observar o correto tempo de estocagem do combustível na oficina, esse deverá ser menor que um mês.
- utilizar um combustível incorreto para cada sistema de alimentação. Para carburadores de duplo e estágios, sistemas de injeção mono e multiponto, recomenda-se à gasolina aditivada.

Gasolina Aditivada

A gasolina aditivada foi desenvolvida com o objetivo de melhorar o desempenho da gasolina através de agentes detergentes e dispersantes na sua composição.

Vantagens da utilização da gasolina aditivada:

1. inibição o da formação de depósitos de baixa temperatura no carburador e eletroinjetores, assim como nos coletores e válvulas de admissão.
2. redução do ataque de agentes oxidantes sobre os elementos do sistema de alimentação.
3. redução da probabilidade de falhas de operação do motor em razão da formação de borras no sistema de alimentação.

Na formulação da gasolina é introduzido um corante especial que lhe confere cor distinta daquela apresentada pela gasolina comum.

Aditivos utilizados:

- **antioxidantes:** tem a função de inibir a oxidação do combustível e evitando a formação de borras e gomas oriundas deste tipo de reação.
- **inibidores de corrosão:** tem a função de evitar que o combustível reaja com os elementos do sistema de alimentação gerando óxidos capazes de entupir as tubulações do sistema de alimentação.
- **detergentes:** e a função de promover a limpeza através da ação de agentes detergentes nos conduto de alimentação.
- **desativadores metálicos:** tem a função de aumentar a estabilidade da gasolina permitindo seu estoque por maior tempo

Mistura ar/combustível

Para que o motor funcione com eficiência não basta haver combustível, há necessidade de se promover uma mistura ar/combustível (comburente/combustível), que é admitida nos cilindros e deve apresentar quantidades precisas desses elementos. Essa proporção determina uma relação ideal, que depende do tipo de combustível usado. Sem isso, o motor não atingirá seu rendimento máximo e pode até mesmo não funcionar.

São três os tipos de mistura:

- **estequiométrica:** apresenta a relação ideal possuem uma quantidade de ar capaz de queimar todo o combustível presente. A combustão é teoricamente perfeita;
- **rica:** quando a mistura admitida nos cilindros possui menos ar do que o necessário, uma parte do combustível não é queimada. A combustão torna-se incompleta e aumenta o nível de emissão de poluentes;
- **pobre:** quando a mistura possui menos combustível do que o necessário, parte do oxigênio não é utilizada. A combustão é ineficiente e o nível de emissões aumenta.

A mistura ideal ou estequiométrica, quando queimada, produz no escapamento somente dióxido de carbono, água e nitrogênio mas, devido às imperfeições da combustão na câmara de combustão, sempre existirão poluentes nos gases de escapamento. A relação estequiométrica varia de acordo com o tipo de combustível e pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{ar/combustível} = \frac{137,84 \cdot \left(1 + \frac{y}{4} - \frac{z}{2}\right)}{12 + y + 16z} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right)$$

onde y e z são as quantidades de hidrogênio e oxigênio dos combustíveis ($\text{CH}_y\text{O}_z =$ fórmula bruta média).²

Assim têm-se, aproximadamente as seguintes relações:

Produto		ar/comb kg/kg	densidade	ml/kg _{ar}
Metanol	CH ₄ O	6,46	0,796	194,5
Etanol	CH ₃ O _{0,5}	8,989	0,794	140,1
MTBE	CH _{2,4} O _{0,2}	11,75	0,744	114,4
Gasolina Pura	CH _{1,86}	14,569	0,7426	92,4

gasolina: 14,7:1
 gasolina com 20% de álcool: 12,5:1
 álcool: 8,5:1

No caso do motor a gasolina, são necessárias 14,7 partes de ar para a cada parte de combustível, para obter nos uma mistura estequiométrica.

A combustão incompleta produz, além do dióxido de carbono e do vapor de água, os seguintes poluentes:

- **monóxido de carbono:** um ambiente com 0,3% de CO provoca a morte em cerca de 30 minutos;

² Fonte: Petrobrás: www.petrobras.com.br

- **hidrocarbonetos:** combustível não queimado;
- **óxidos de nitrogênio:** o nitrogênio, que deverá passar inalterado pela combustão, se associa ao oxigênio formando os óxidos de nitrogênio.

No Brasil, os veículos não são feitos para gasolina pura e sim para gasolina “C” (com 22% de etanol), fazendo com que a dosagem seja (para o estequiométrico) da ordem de 100ml por quilograma de ar.

Verifica-se que os motores brasileiros consomem cerca de 8,2% mais de combustível (em volume) por conta deste fato ($100 \div 92,4 = 1,082$). Portanto não é possível comparar com a autonomia do mesmo modelo em um outro país.

Princípio de Funcionamento

Quando se dá a partida no veículo, os pistões do motor sobem e descem - Figura 68. No movimento de descida, é produzida no coletor de admissão uma aspiração (vácuo), que aspira ar da atmosfera e passa pelo medidor de fluxo de ar e pela borboleta de aceleração, chegando até os cilindros do motor.

O *medidor do fluxo de ar* informa para a unidade de comando o volume de ar admitido.

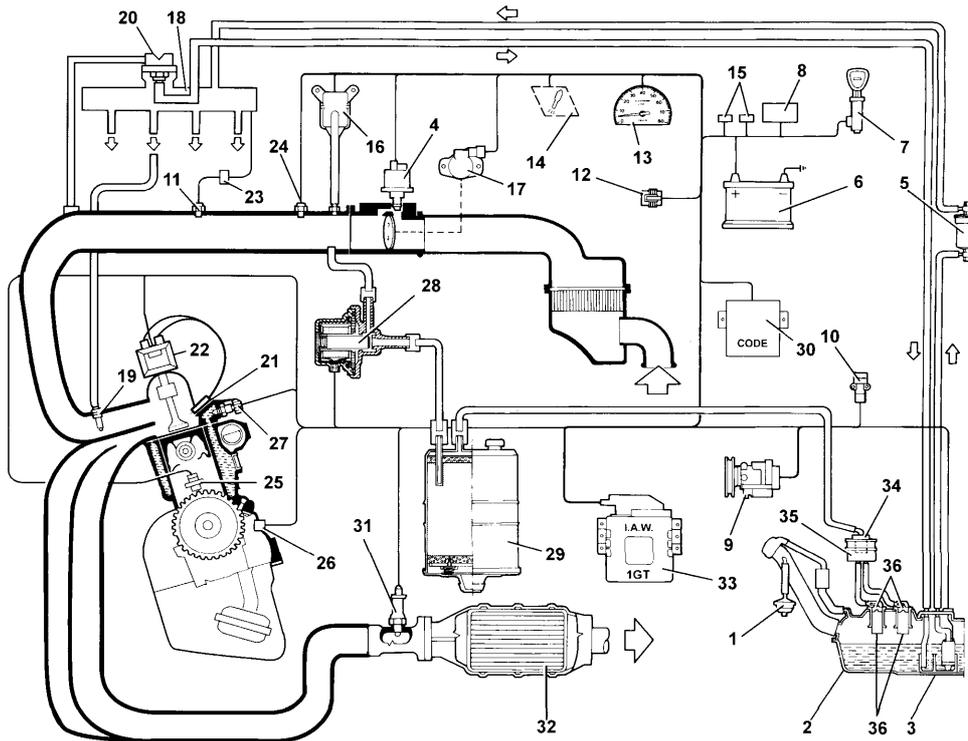
A *unidade de comando*, por sua vez, permite que as válvulas de injeção injetem a quantidade de combustível ideal para o volume de ar admitido, gerando a perfeita relação ar/combustível que é chamada de mistura.

Quanto mais adequada a mistura melhor o rendimento e economia, e menor a emissão de gases poluentes.

Os sistemas de injeção são constituídos basicamente de **sensores e atuadores**.

Sensores são componentes que estão instalados em vários pontos do motor e servem para enviar informações para a unidade de comando. (ex: sensor de temperatura)

Atuadores são componentes que recebem informações da unidade de comando e atuam no sistema de alimentação, variando o volume de combustível que o motor recebe. (ex: atuador de marcha lenta)



Sistema Weber-Marelli (FIAT PALIO)

Figura 68 – Esquema do Sistema de Injeção e Ignição Eletrônica

onde:

1 Válvula de segurança	19 Eletroinjetores
2 Tanque de combustível	20 Regulador de pressão do combustível
3 Eletrobomba de combustível	21 Vela de ignição
4 Atuador de marcha lenta	22 Bobina de ignição
5 Filtro de combustível	23 Fusível de proteção do aquecedor do corpo de borboleta
6 Bateria	24 Sensor de temperatura do ar
7 Comutador de ignição	25 Sensor de rotação do motor
8 Relé duplo	26 Sensor de detonação
9 Compressor do condicionador de ar	27 Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor
10 Interruptor inercial	28 Eletroválvula interceptadora de vapores de combustível
11 Aquecedor do corpo de borboleta	29 Filtro de carvão ativado
12 Conector – Tomada de diagnóstico	30 Central FIAT CODE
13 Conta-giros	31 Sonda Lambda
14 Lâmpada piloto de avaria no sistema	32 Conversor catalítico
15 Fusíveis	33 Central de Injeção/Ignição
16 Sensor de pressão absoluta	34 Válvula multifuncional
17 Sensor de posição da borboleta	35 Separador dos vapores de combustível

aceleradora	
18 Tubo distribuidor de combustível com regulador de pressão integrado	36 Válvulas flutuantes

Classificação

Os sistemas de injeção eletrônica e ignição digital podem ser classificados segundo cinco formas diferentes:

- Pelo fabricante do veículo (General Motors, Volkswagen, FIAT, etc).;
- Pelo fabricante do sistema de injeção/ignição, embora em muitos casos, os sistemas possuam componentes eletrônicos de outros fabricantes de MC's de injeção eletrônica em seus próprios sistemas (BOSH, MAGNETI-MARELLI, etc).;
- Pela quantidade de eletroinjetores e sua estratégia de acionamento, os sistemas podem ser **monoponto** (um injetor para todos os cilindros) ou **multiponto** (um injetor para cada cilindro).;
- Pela estratégia de definição do tempo de injeção ou do avanço de ignição.

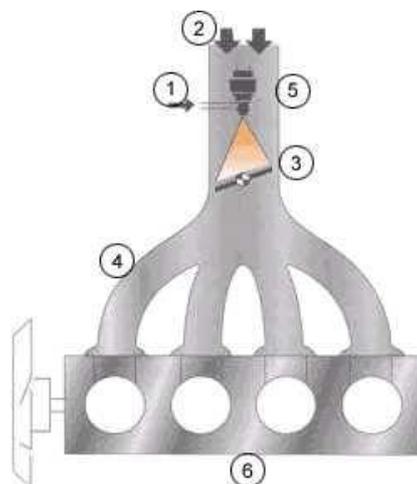


Figura 69 – Sistema Monoponto

onde:

1 Entrada de combustível	4 Coletor de Admissão
2 Ar	5 Válvulas de Injeção
3 Borboleta de Aceleração	6 Motor

O sistema monoponto destaca-se por possuir uma única válvula de injeção para os diversos cilindros do motor. O sistema multiponto utiliza uma válvula de injeção para cada cilindro do motor.

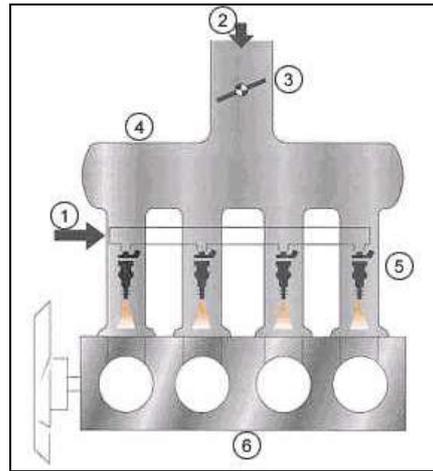


Figura 70 – Sistema Multiponto

onde:

1	Galeria de Distribuição (entrada de combustível)	4	Coletor de Admissão
2	Ar	5	Válvulas de Injeção
3	Borboleta de Aceleração	6	Motor

No último caso, a classificação segundo a estratégia de definição do tempo de injeção divide os sistemas existentes em quatro grupos:

- **Mapeamento ângulo X Rotação:** neste caso, o tempo básico de injeção é definido em testes de bancada em laboratório em função de ângulo da borboleta de aceleração e da rotação do motor, gerando uma tabela de tempos básicos de injeção que são memorizados.
- **Densidade X Rotação:** o tempo básico de injeção é calculado, indiretamente, em função do fluxo de massa de ar admitido. O fluxo de massa de ar é determinado pela rotação do motor, pelo volume dos cilindros e pela densidade do ar, e este é calculado segundo a pressão no coletor de admissão e a temperatura do ar.
- **Fluxo de Ar:** o tempo básico de injeção é calculado, diretamente, em função da vazão de ar admitido. A vazão de ar é determinada diretamente por um medidor de fluxo de ar e o resultado é corrigido em função do efeito da variação da temperatura do ar admitido na variação da sua densidade.
- **Massa de ar:** o tempo básico de injeção é calculado, diretamente, em função da massa de ar admitido. A massa de ar é determinada por um medidor de massa de ar, que pelo seu princípio de funcionamento já corrige automaticamente, as variações da pressão atmosférica, da temperatura ambiente e até da umidade relativa do ar.

Componentes

Unidade de Comando Eletrônico

A também chamada de Centralina ou Central Eletrônica, a Unidade de Comando Eletrônico (UCE) é o cérebro do sistema - Figura 71. É uma unidade de tipo digital com microprocessador, caracterizada pela elevada velocidade de cálculo, precisão, confiabilidade, versatilidade, baixo consumo de energia e sem necessidade de manutenção. É ela que determina, pela ação dos atuadores, para obter o melhor funcionamento possível do motor - Figura 72. Deste modo a quantidade de combustível injetada é dosada pela unidade de comando através do tempo de abertura das válvulas de injeção, também conhecido como tempo de injeção.

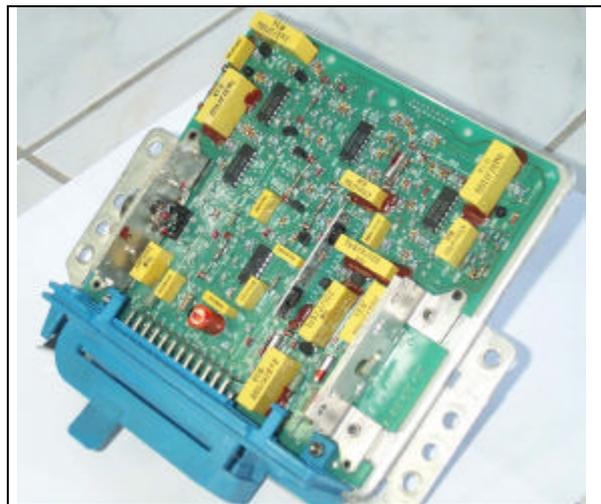


Figura 71 – Unidade de Comando Eletrônico da BOSCH

Ao ser ligada a chave de ignição (sem dar partida), a UCE é alimentada. A mesma acende uma lâmpada de diagnóstico³ e aciona, por alguns segundos, a [Bomba Elétrica de Combustível](#), objetivando pressurizar o sistema de alimentação⁴. Junto a isso, envia uma tensão de 5V VDC para a maioria dos sensores do sistema e passa a receber o sinal característico de cada um deles (temperatura da água, pressão no coletor de admissão, temperatura do ar, posição da borboleta de aceleração, etc...). Durante a partida e com o motor funcionando, recebe sinal do [Sensor de Rotação](#). Enquanto captar esse sinal a UCE irá manter a bomba elétrica de combustível acionada e controlará a(s) válvula(s) injetora(s), bobina de ignição e a rotação da marcha lenta.

Com base no sinal dos sensores, a UCE pode ainda controlar o sistema de partida a frio, no caso de veículos a álcool, o eletro-ventilador de arrefecimento⁵, o desligamento da embreagem do compressor do condicionador de ar, etc.

³ A lâmpada de diagnóstico não é encontrada em todos os veículos injetados. A maioria dos veículos FORD e VW não a possuem.

⁴ Em alguns veículos como Corsa MPFI, Omega 2.0, Santana Executive, Escort XR3 2.0i, o acionamento da bomba só acontece quando é dada a partida.

⁵ Na maioria dos veículos, o eletro-ventilador é controlado por um interruptor térmico (“Cebolão”). Porém em veículos como o Kadett EFI, Monza EFI, Ipanema EFI, S10 EFI, Blazer EFI, Corsa MPFI, Ford KA 1.0 e 1.3, Fiesta 1.0 e 1.3, o controle é feito pela UCE.

A maioria das UCE possui sistema de autodiagnóstico⁶, por isso podem detectar diversas anomalias. Quando isso acontece, a UCE grava um código de defeito em sua memória, acende uma lâmpada de diagnóstico e ativa o procedimento de emergência RECOVERY.

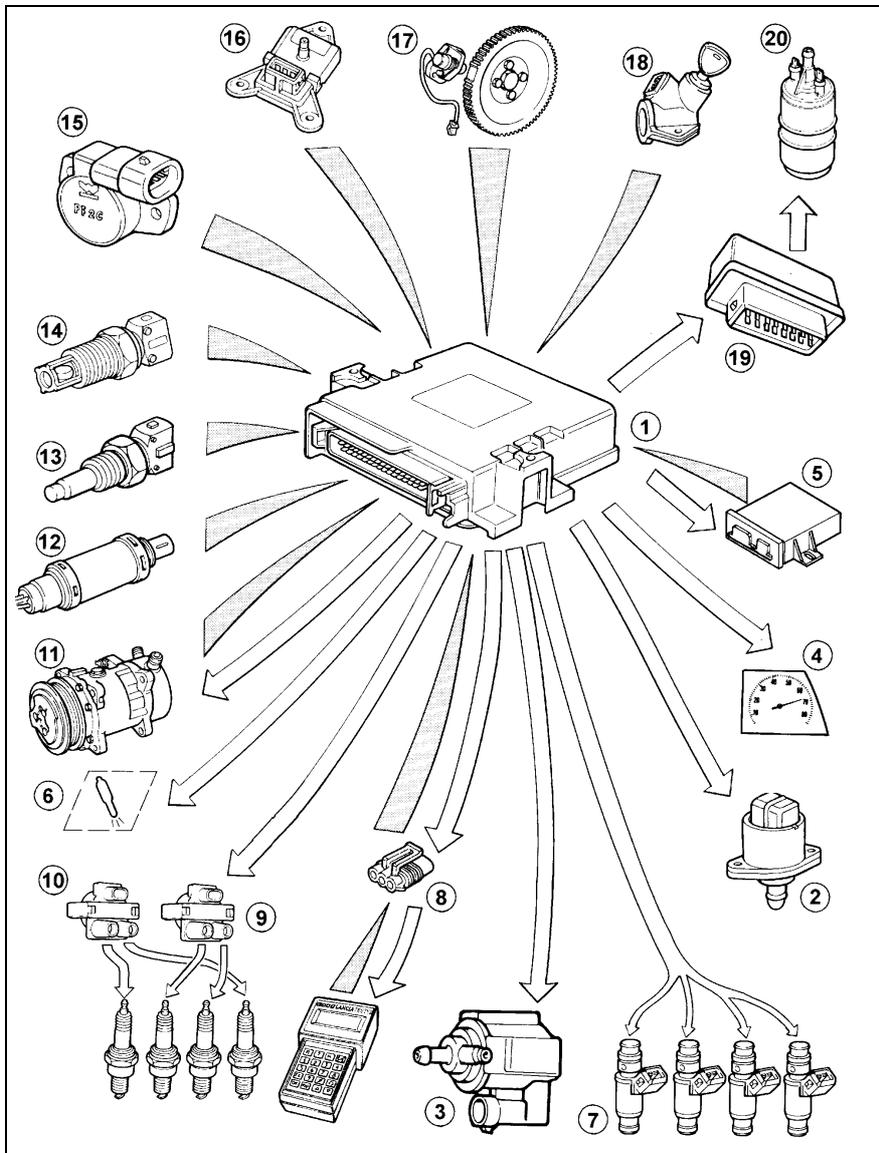


Figura 72 – Esquema das informações em entrada/saída da Unidade de Comando

onde:

1 Central eletrônica de injeção/ignição	11 Compressor do condicionador de ar
2 Atuador da marcha lenta	12 Sonda lambda
3 Eletroválvula	13 Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor
4 Conta-giros	14 Sensor de temperatura do ar aspirado
5 Central eletrônica FIAT CODE	15 Sensor de posição da borboleta

⁶ Alguns sistemas como o LE-JETRONIC (sem EZK) não apresentam autodiagnóstico)

6	Lâmpada piloto de defeito no sistema de injeção	16	Sensor de pressão absoluta
7	Eletroinjetores	17	Sensor de rotações/PMS
8	Tomada de diagnose	18	Comutador de ignição
9	Bobina de ignição dos cilindros 1 – 4	19	Relé duplo
10	Bobina de ignição dos cilindros 2 - 3	20	Eletrobomba de combustível

Recovery

É um procedimento utilizado pelas UCEs de sistemas de injeção digitais para substituir o valor enviado pelo sensor danificado (em curto-circuito ou circuito aberto) por um valor pré-programado. Nos sistemas MOTRONIC MP 9.0 (gol 1000 mi 8V) e IAW 1AVS (Gol/Parati 1000 mi 16V), por exemplo, quando a UCE detecta falha no circuito sensor de temperatura da água – CTS, grava o código de defeito em sua memória e assume a temperatura de 100°C como padrão. Portanto, se o CTS for desligado, o veículo continuará funcionando, mas com um rendimento um pouco inferior, até que o proprietário o leve para a manutenção.

A **UCE** possui um conector de diagnóstico denominado ALDL (Figura 73). Este conector é uma tomada onde um, Aparelho de Diagnóstico é inserido para que o mesmo se faça uma avaliação do sistema.

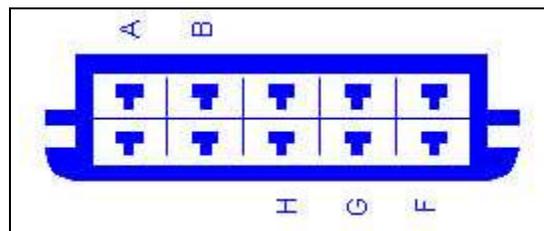


Figura 73 – Conector de Diagnóstico

Diagrama de Blocos da UCE

O diagrama em blocos abaixo mostra um típico módulo microprocessado. Neste diagrama, distinguimos sete funções distintas e cada uma implementa determinada função.

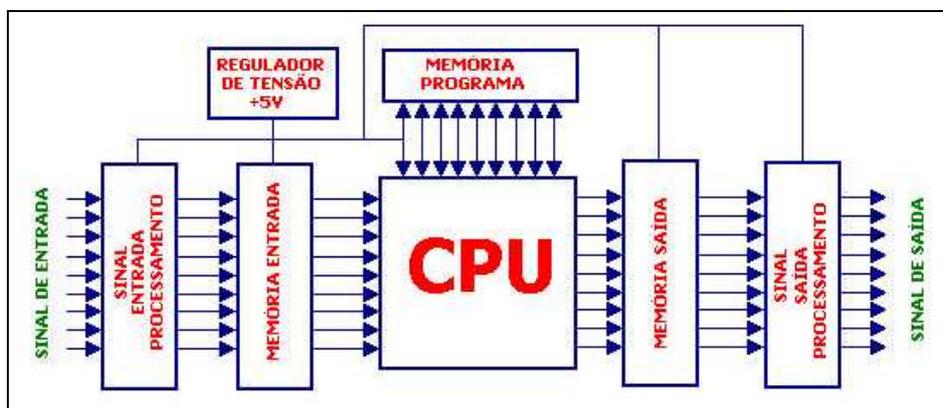


Figura 74 – Visão Geral do Sistema

As sete funções são:

- Regulador de tensão;
- Processamento do sinal de entrada;
- Memória de entrada;
- Unidade Central de Processamento (CPU);
- Memória programa;
- Memória de saída;
- Processamento do sinal de saída.

Regulador de Tensão Interno

O módulo e os vários sensores requerem uma alimentação muito estabilizada. A unidade de comando possui seu próprio regulador/ estabilizador. Muitos dos sensores como o MAP, TPS, ACT, ECT necessitam de uma tensão de 5 volts como referência. Isso se deve ao tipo de circuitos integrados utilizados na unidade de comando que só operam com esse valor de tensão.

Processamento do Sinal de Entrada

Cada sinal é convertido para um número digital (números binários). Esses números correspondem a “0” ou “1”. O valor é tido como “0” quando não há tensão de saída e “1” quando existe um valor de tensão (no caso, 5 volts). Como cada sensor gera um diferente tipo de sinal, então são necessários diferentes métodos de conversão.

Os sensores geram um sinal de tensão compreendido entre 0 a 5 volts (sinal analógico). Estes valores não podem ser processados pela CPU, a qual só entende números binários. Portanto, esses sinais devem ser convertidos para um sinal digital de 8 bits (até 256 combinações). O componente encarregado de converter esses sinais é chamado de conversor A/D (analógico para digital).

Memória de Entrada

O sinal de tensão analógico emitido pelos sensores, é convertido para sinais digitais pelo conversor A/D. Cada valor digital corresponde a um valor de tensão que está gravado na memória de entrada.

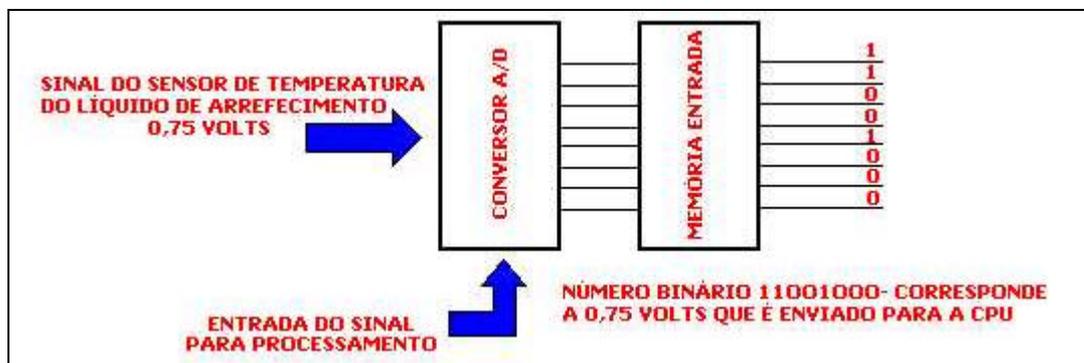


Figura 75 – Memória de Entrada

Unidade Central de Processamento (CPU)

A CPU recebe um sinal digital proveniente do conjunto de processamento de entrada (conversor A/D) que por sua vez, recebem os sinais analógicos dos sensores.

Os sinais digitais recebidos pela CPU são comparados com os valores (parâmetros) que estão gravados em uma memória fixa (memória de calibração) e retorna um outro sinal digital para a saída.

Memória Programada

Chamado de memória de calibração é onde são armazenados todos os parâmetros de funcionamento do sistema.

Nessa memória, existe um mapa de controle de calibração de todas as condições de funcionamento do motor.

Este tipo de memória não se apaga com a ignição desligada ou com a bateria desconectada, por isso, é chamada de memória fixa.

No exemplo da figura anterior, o sensor de temperatura gerou um sinal analógico de 0,75 volts, o qual foi convertido no número binário 11001000. É este sinal que chega a CPU. Após receber esse sinal, a CPU compara esse valor com o que está gravado na memória de calibração, que no caso, o valor 11001000 corresponde a uma temperatura de 100 graus Celsius.

Com essas informações, a unidade de comando determina através de sinais digitais o tempo de abertura das válvulas injetoras.

Memória de Saída

Na memória de saída, estão gravados os tempos de abertura das válvulas injetoras. A cada sinal de saída da CPU é determinado um tempo.

Funcionamento de Emergência

Um sistema digital permite verificar o perfeito funcionamento dos sensores e de alguns atuadores.

Caso ocorra a falha de um sensor, a CPU descarta o sinal enviado pelo mesmo e começa a fazer os cálculos a partir de outros sensores. Quando isso não for possível, existem dados (parâmetros) gravados em sua memória para substituição.

Por exemplo, se a unidade de comando perceber que existe uma falha no sensor de pressão absoluta do coletor (MAP), ela ignora suas informações e vai fazer os cálculos de acordo com as informações da posição de borboleta (sensor TPS). Isso é possível porque, quanto maior for o ângulo de abertura da borboleta, maior será a pressão interna do coletor (vácuo baixo). Se caso o TPS também apresentar defeito, a unidade de comando irá trabalhar com um valor fixo gravado na sua memória que corresponde a 90 kPa (0,9 BAR).

Cuidados com a Unidade de Comando

- Ao se fazer reparos com solda elétrica, retirar a unidade de comando do veículo;
- Não dar partida utilizando uma bateria em série com o circuito;
- Não por as mãos nos pinos da unidade de comando, devido a existência de eletricidade estática que se acumula no corpo humano;

- Não desligar os conectores da unidade de comando com a chave de ignição ligada.

Sensores

Servem para informar a unidade de comando sobre as diversas condições de funcionamento do motor, como a temperatura do líquido de arrefecimento e do ar admitido, a pressão interna do coletor de admissão, a posição em que se encontra a borboleta de aceleração e outros.

A maioria dos sensores trabalha com uma tensão de referência de **5VCC** (devido ao tipo de circuito integrado utilizado na UC - família MOS e CMOS) e está ligado em série com um resistor fixo (no interior da unidade de comando) formando um divisor de tensão.

Na Figura 76, podemos observar que **R1** (resistor fixo) está ligado em série com o sensor (resistor variável) formando um divisor de tensão.

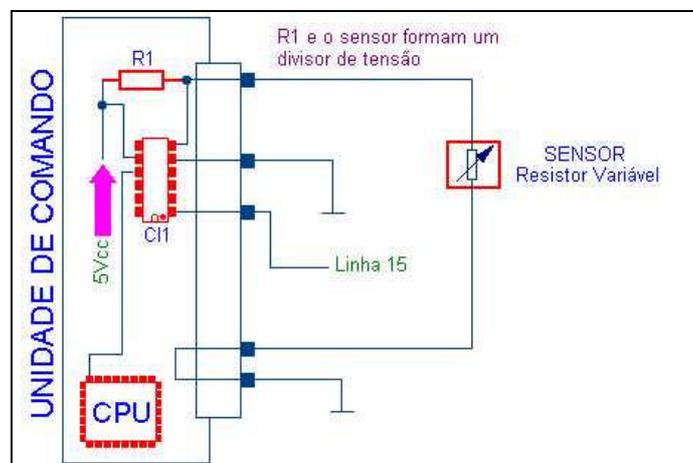


Figura 76 - Sensores

Quanto maior for a resistência do sensor, menor será a queda de tensão em R1 que é monitorado pelo integrado IC1. Esse integrado é como se fosse um voltímetro e envia o sinal de tensão para o processador principal (CPU) onde é decodificado.

Um sensor pode variar sua resistência de diversas maneiras:

- Deslocamento mecânico-potenciômetro linear;
- Variação de temperatura-termistor;
- Variação de pressão-piezo-resistivo.

Sensor de Pressão Absoluta do Coletor (MAP)

MAP – Manifold Absolute Pressure

Este sensor mede a alteração da pressão no coletor de admissão, que resulta da variação de carga do motor. O sensor é capaz de medir a pressão de 0,2 até 1,05 bar (de 20 a 105 kPa).

A unidade de comando recebe as informações em forma de sinais de tensão, que variam entre 0,5 a 1,0 volt em marcha-lenta (baixa pressão no coletor; vácuo alto). A tensão pode passar dos 4,0 volts com a borboleta totalmente aberta (alta pressão no coletor; vácuo baixo).

Assim que a chave de ignição é ligada, o sensor MAP informa a unidade de comando o valor da pressão atmosférica, para que se possa dar o cálculo perfeito da densidade do ar. A

pressão atmosférica varia conforme a altitude (quanto mais alto, menor será a pressão atmosférica).

O elemento sensível contido na peça de plástico - Figura 77(a) - é composto de uma ponte de resistências (ponte de Wheatstone) serigrafadas numa placa de cerâmica muito fina (diafragma) de forma circular, montada na parte inferior de um suporte de forma anular - Figura 77(b). O diafragma separa duas câmaras: na câmara inferior lacrada, foi criado o vácuo, enquanto que a câmara superior está em comunicação direta com o coletor de admissão.

Normalmente, o sensor MAP é ligado à tomada de pressão no coletor através de uma mangueira de borracha. Em sistemas mais modernos como os utilizados nos veículos Volkswagen MI, Novo Vectra, Família Palio 8V (após 99), o sensor vem parafusado diretamente sobre o coletor de admissão (não utiliza mangueira de tomada de pressão).

Este sensor trabalha com uma pequena membrana de cristal do tipo "piezo-resistivo" que varia sua resistência de acordo com o grau de deformação desta membrana. Quanto maior for o grau de deformação, maior será a sua resistência e menor será a tensão recebida pela Unidade de Comando (maior no sensor), que mantém a alimentação rigorosamente constante (5V).

As informações do sensor de pressão absolutas (MAP) são utilizadas para os cálculos da quantidade de ar admitido (massa de ar) e para o avanço da ignição (de acordo com a carga do motor).

Para se calcular o volume de combustível a ser injetado, a unidade de comando se baseia na temperatura do ar admitido e pressão do coletor (para se saber a densidade) e mais as informações de rotação e taxa de cilindrada do motor. Com essas informações, é possível definir a quantidade de combustível a ser injetado, mantendo-se a proporção ideal de mistura ar/combustível.

Recovery do MAP

No caso de falha do sensor MAP, a unidade de comando controlará a quantidade de combustível e o ponto de centelhamento, baseado num valor de substituição Este valor leva em consideração, principalmente, o sinal do sensor de posição da borboleta (TPS).

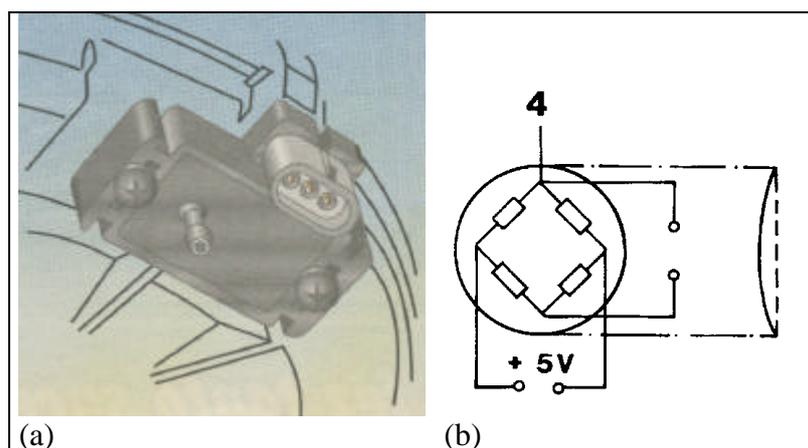


Figura 77 – (a) Sensor MAP e (b) Ponte de Wheatstone

Na realização do teste de um sensor de pressão absoluta no coletor de admissão – MAP observe os seguintes detalhes:

Certifique-se da boa condição da carga da bateria e alimentação da UCE;

Verifique se a mangueira de tomada de pressão do sensor (caso exista) não está furada ou entupida. Mantenha a tomada de pressão desobstruída.

O teste do sensor deve ser realizado com os conectores do sensor e da UCE ligados (circuito do sensor em carga), somente dessa forma pode-se simular a verdadeira condição de funcionamento do sensor;

A medição do sinal deve obedecer a seguinte ordem: (a) devem ser avaliados o aterramento do circuito do sensor e a tensão de alimentação do mesmo. (b) deve ser analisado o sinal enviado pelo sensor a UCE.

Para o sensor MAP analógico, o sinal enviado para a UCE deve ser medido em tensão de corrente contínua VDC. Para o digital, deve ser medido em Hertz – Hz.

O sinal do sensor deve estar de acordo com a depressão a qual o mesmo estiver submetido e com a pressão atmosférica local.

A medição do sinal pode ser realizada com a chave de ignição (sem dar partida) aplicando-se depressão com uma bomba de vácuo na tomada do sensor ou com o motor em marcha-lenta, comparando-se o sinal do sensor com a pressão absoluta no coletor.

Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento (CTS)

CTS – Coolant Temperature Sensor

Consiste de um termistor do tipo NTC (resistência inversamente proporcional a temperatura) montado no fluxo do líquido de arrefecimento. A resistência do termistor varia conforme a temperatura do líquido de arrefecimento. Temperatura baixa produz resistência alta. Aproximadamente 28000Ω a -20°C . A medida em que a temperatura aumenta, a resistência diminui a aproximadamente 2200Ω a $+30^{\circ}\text{C}$.

A tensão do sinal do sensor varia de aproximadamente 4,5 a 0,5V – Tabela 2 e Tabela 3. Esta tensão medida na unidade de comando, diminui conforme o aumento de temperatura do motor. A desconexão do sensor simula condição de motor frio gerando o código de falha 15 (sensor de temperatura ECT- tensão alta). O curto circuito do sensor simula condição de motor quente, gerando o código de falha 14 (sensor de temperatura ECT- tensão baixa).

Em temperatura operacional normal, a voltagem do terminal B12 é aproximadamente 1,5 a 2,0 volts.

A temperatura do motor é uma das informações utilizadas para o controle de:

- quantidade de combustível;
- ponto eletrônico da ignição (EST);
- controle de ar na marcha-lenta (IAC).

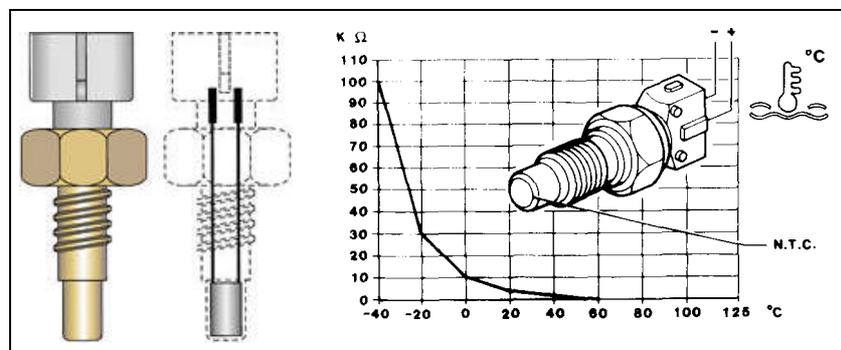


Figura 78 – Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento (CTS)

Tabela 1 - Sinal do CTS em função da temperatura do motor - Gol 1000 MI 8V

Temperatura (°C)	00	20	30	40	50	60	85	90	100	110
Voltagem (VDC)	4,30	3,70	3,30	2,80	2,30	2,00	1,20	1,00	0,95-0,85	0,65

Tabela 2 - Sinal do CTS em função da temperatura do motor - Gol 1000 MI 16V

Temperatura (°C)	25	40	80	100
Voltagem (VDC)	3,00	2,20	0,80	0,60-0,45

onde a região marcada corresponde à temperatura operacional para um motor aquecido. Em ambas as tabelas, o sensor ativa a ventoinha quando a temperatura chega próxima dos 100°C.

Na realização do teste de um sensor de temperatura do líquido de arrefecimento, observe os seguintes detalhes:

- Certifique-se da boa condição da carga da bateria e alimentação da UCE;
- Verifique a qualidade do líquido de arrefecimento e o bom estado de funcionamento dos componentes do sistema;
- Sangre o sistema de arrefecimento. A formação de bolhas de ar em contato com o sensor de temperatura da água provoca falhas no funcionamento do motor e no acionamento da ventoinha;
- Retire o sensor de temperatura da água e limpe sua carcaça;
- Meça a tensão de alimentação do sensor e o aterramento de seu circuito;
- O sinal do sensor deve ser medido em tensão de corrente contínua VDC. A chave de ignição deve estar ligada.
- O teste só pode ser considerado conclusivo se feito no momento em que houver a falha.

Sensor de Temperatura do Ar (ACT)

ACT – Air Charge Temperature

Está localizado antes do corpo de borboleta, colocado na mangueira que liga o filtro de ar ao corpo. Quando o ar admitido está frio, a resistência do sensor (termistor do tipo NTC) é alta, a medida em que o ar admitido aquece, a resistência do sensor diminui e a tensão correspondente também (Figura 79)

A temperatura do ar é uma das informações utilizadas para o controle de:

- quantidade de combustível;
- ponto eletrônico de ignição (EST);
- controle de ar de marcha-lenta (IAC).

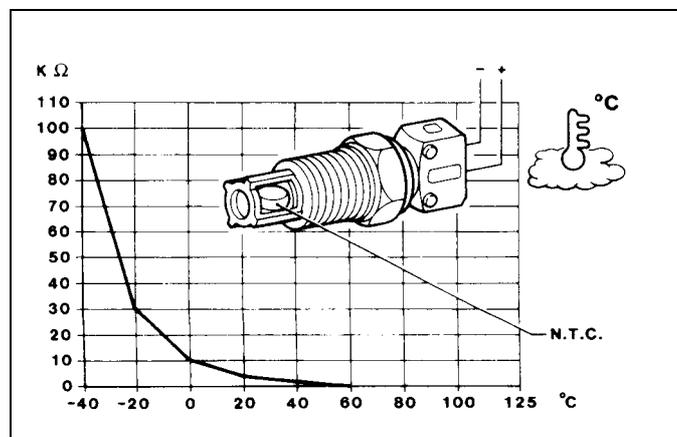


Figura 79 – Sensor de Temperatura do Ar (ACT)

Recovery do ACT

Se for detectada uma temperatura superior ou inferior a determinados limites, toma-se a temperatura do ar igual à temperatura do líquido de arrefecimento. Em caso de defeito simultâneo do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento, a unidade de comando estabelece um valor fixo de temperatura.

Sensor de Velocidade do Veículo (VSS)

O sensor de velocidade do veículo - VSS (Vehicle Speed Sensor), pode ser encontrado em três configurações: **sensor magnético** ou **de relutância variável**, **sensor de efeito hall** e **sensor de efeito óptico**.

O sensor de velocidade do veículo (VSS) fornece a unidade de comando, as informações sobre as velocidades do veículo, desde que o mesmo esteja acima de 1km/h.

A unidade de comando utiliza essas informações para o controle de:

- rotação de marcha-lenta;
- quantidade de combustível;
- acionamento do solenóide de controle da válvula EGR;
- sinal de saída do computador de bordo.

No sensor VSS, o sinal gerado é diretamente proporcional à velocidade do veículo. A unidade de comando eletrônico - UCE, utiliza esta informação principalmente para o controle das condições de marcha - lenta e freio-motor.

Os **sensores de efeito hall** são alimentados com tensão de bateria. Fornecem à UCE um sinal pulsado cuja amplitude deve ser igual a tensão de alimentação, e a frequência proporcional à velocidade do veículo. Estão comumente instalados no eixo de saída da transmissão, junto ao cabo do velocímetro. O sensor de velocidade tipo hall é o mais comum no mercado nacional, sendo utilizado em veículos como Kadett EFI, Monza efi, Ipanema efi, Gol mi 1.0, Palio 16 v, Escort 16v - Zetec, e outros.

Os **sensores de efeito óptico** possuem comportamento similar aos de efeito hall. Consistem basicamente de um diodo emissor de luz (LED) e um sensor óptico (fototransistor) separados por um disco giratório com janelas. Toda vez que as janelas permitem que a luz procedente do LED seja refletida no sensor óptico é enviado sinal (pulso) à UCE. Estes sensores são encontrados, por exemplo, na família Corsa e no Omega 2.2 (com painel analógico - comum). Estão normalmente instalados junto ao painel de instrumentos e são acionados pelo cabo do velocímetro.

Os **sensores magnéticos** ou **de relutância variável** não necessitam de alimentação elétrica. Seu sinal é gerado por indução eletromagnética devido a interação entre o sensor e a roda dentada (fônica). São aplicados em veículos como S10 /Blazer 2.2 EFI e 4.3 V6.

O sensor de velocidade nos veículos S10 é de relutância variável instalado na saída da transmissão, que emite um sinal de frequência e tensão variáveis conforme a velocidade de rotação do eixo de saída. Estes pulsos são processados pelo módulo DRAC, que os transforma num sinal pulsado adaptado às necessidades a unidade de comando. O módulo DRAC emite pulsos numa frequência de aproximadamente, 2500 pulsos por km rodado. Está localizado no mesmo suporte que a unidade de comando (debaixo dela).

O sensor para a opção LCD (painel de instrumentos digital - somente Omega) consiste de um gerador de pulsos montado na saída da transmissão. O sensor emite pulsos de tensão sempre que o veículo está em movimento. O número de pulsos aumenta de acordo com a velocidade do veículo.

Sensor de Rotação

Nos sistemas de IE, os sensores de rotação, posição da árvore de manivelas, fase do comando de válvulas e velocidade podem ser de *Efeito Hall* ou de *Relutância Variável*.

Sensor Hall

Localizado no conjunto distribuidor, o sensor Hall é de extrema importância para o bom funcionamento do sistema de IE. É utilizado pela maioria dos veículos injetados que ainda utilizam distribuidor de ignição (ignição dinâmica).

Durante a partida ou com o motor em funcionamento, envia sinais (pulsos negativos) para a UCE calcular a rotação do motor e identificar a posição da árvore de manivelas. Sem esse sinal, o sistema não entra em funcionamento. Sua configuração pode ser vista na Figura 80.



Figura 80 – Sensor Hall

O sensor Hall é uma pastilha semicondutora alimentada com tensão de aproximadamente 12VDC. O movimento de rotação do eixo distribuidor é transmitido ao disco giratório que possui 4 janelas. Quando a abertura do disco giratório está posicionada entre o sensor Hall e o ímã permanente, o sensor fica imerso no campo magnético do ímã. Nesta situação é emitido um sinal negativo que gera no interior da UCE uma tensão de aproximadamente 12VDC - Figura 81.

Em função da frequência de variação do sinal entre zero e 12VDC, a UCE calcula a rotação do motor.

O disco giratório pode ter 4 janelas iguais ou 3 janelas iguais e uma maior, dependendo do sistema. No disco de 4 janelas iguais, o início das janelas, indica a quantos graus estão dois dos cilindros do PMS. No disco de 3 janelas iguais e uma maior, o início da janela maior indica a quantos graus está o 1º cilindro do PMS.

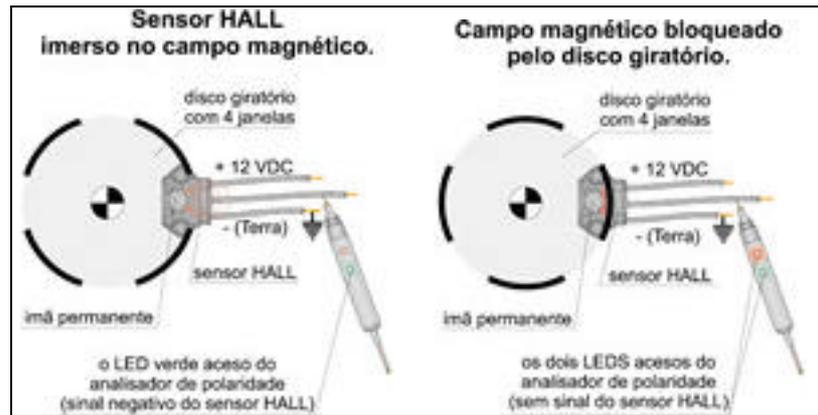


Figura 81 – Funcionamento do Sensor Hall

Sensor Magnético ou de Relutância Variável

O sensor de relutância variável tem ampla aplicação na eletrônica automotiva. Nos sistemas de freios ABS, e. g., é utilizado como sensor de velocidade das rodas. Na IE pode vir a exercer as funções de sensor de rotação, velocidade do veículo, posição da árvore de manivelas (ou PMS) e sensor de fase do comando de válvulas.

É constituído basicamente por uma roda dentada (fônica), ímã permanente, núcleo ferro-magnético, bobina, fios da bobina, malha de blindagem e conector do sensor - Figura 82.

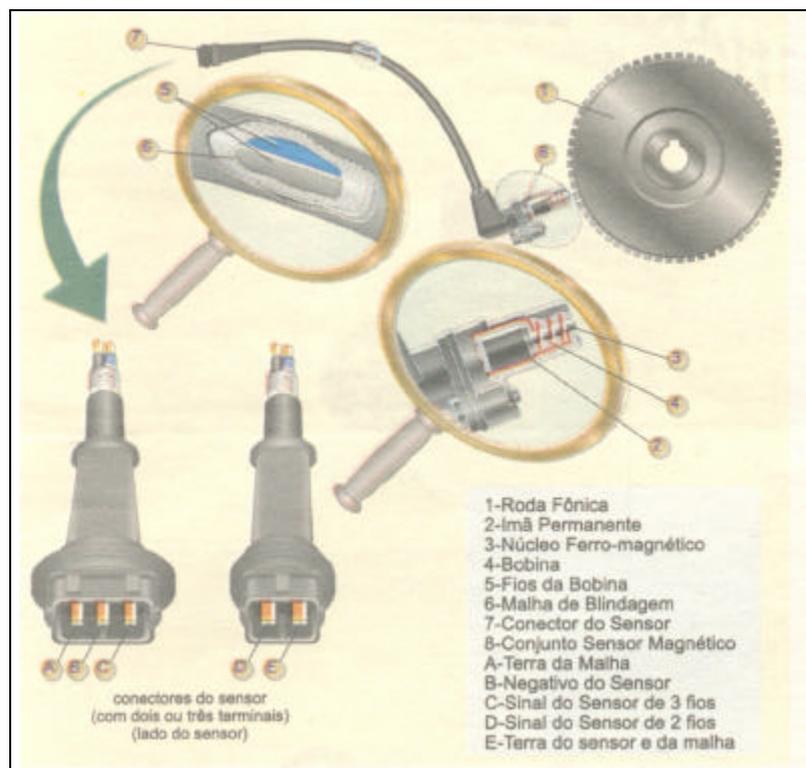


Figura 82 – Componentes do Sensor

O sensor de relutância variável, ao contrário do sensor Hall, não necessita de alimentação (positiva ou negativa) para emitir sinal a UCE. Seu sinal é gerado por indução eletromagnética – Figura 83 e Figura 84.

Quando o dente da roda fônica aproxima-se do sensor, a tensão começa a subir positivamente devido à variação do fluxo magnético - Figura 83(a). Quando o dente da roda fônica se alinha perfeitamente com o sensor, a tensão nesse ponto é nula (0 volt) - Figura 83(b).

Quando inicia-se o desalinhamento, a tensão começa a subir negativamente devido à variação do fluxo magnético - Figura 83(c). Quando o dente da roda fônica estiver totalmente desalinhado com o sensor, a tensão volta a ser nula (0 volt) - Figura 83(d).

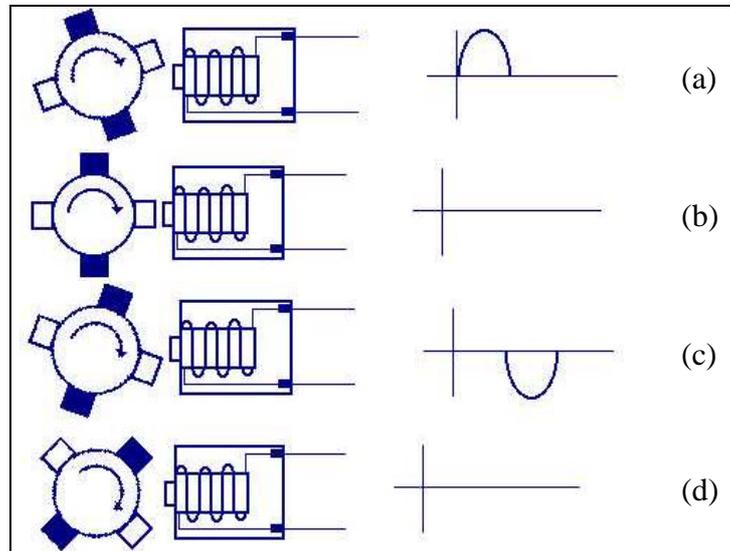


Figura 83 - Funcionamento do sensor de rotação

O sinal de rotação e posição da árvore de manivelas é o mais importante para o sistema de injeção/ignição eletrônica. É através desse sinal que a unidade de comando controla a maioria dos atuadores, como o módulo de ignição (DIS), as válvulas injetoras, o relé da bomba de combustível, etc.

Trata-se de um sinal extremamente complexo, pois é diferente de outros sensores, a tensão gerada é alternada (sinal analógico). Também ocorre a variação do seu valor (ora tensão baixa, em marcha lenta, ora tensão alta, em plena carga). Este sinal varia ainda em função de sua distância à roda fônica e do número de dentes que esta última possui – Figura 85.

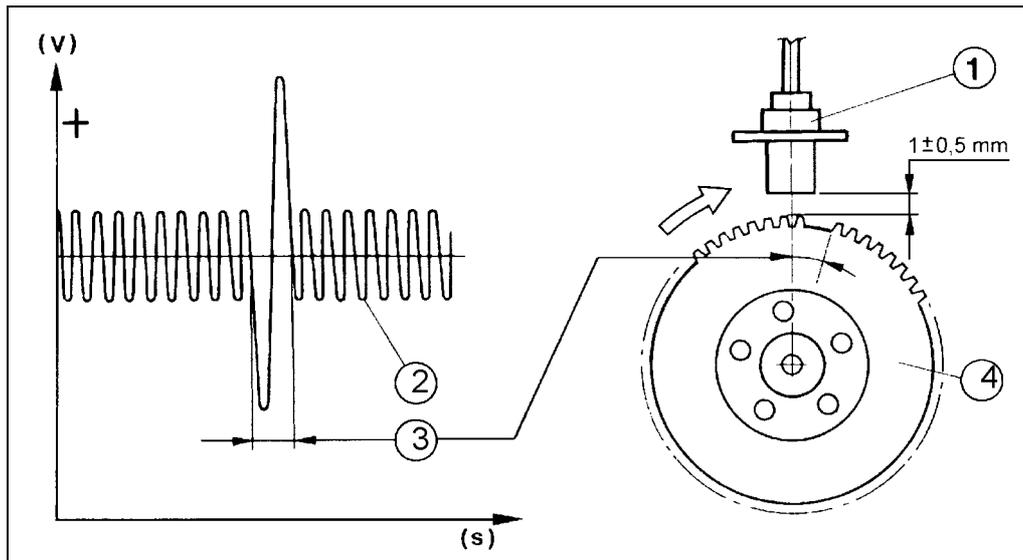


Figura 84 – Sinal do Sensor de Rotação

onde:

1	Sensor	3	Sinal correspondente aos dois dentes que faltam
2	Sinal em saída	4	Polia da árvore de manivelas com roda fônica

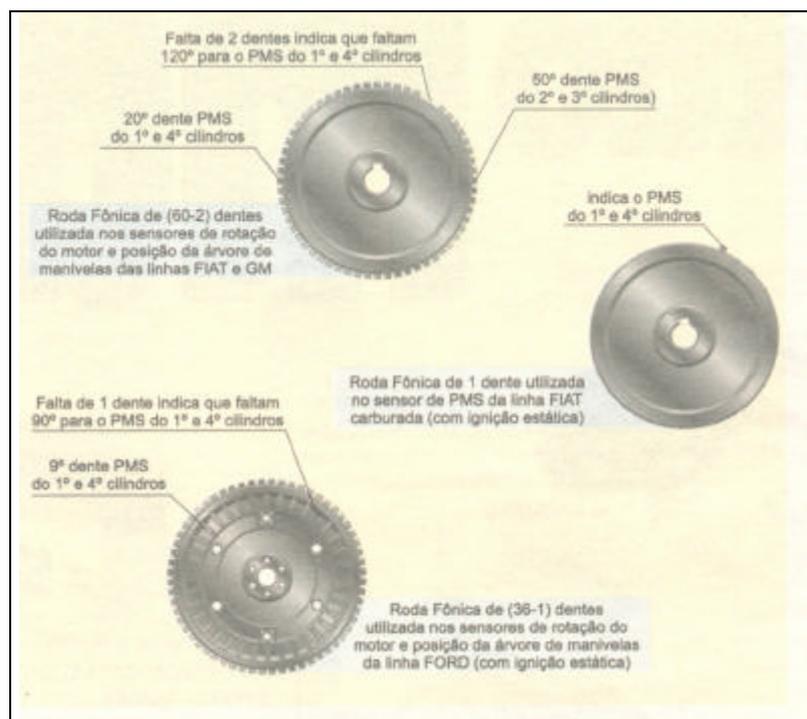


Figura 85 – Tipos de Rodas Dentadas

A UCE deve converter esse sinal analógico em digital e também estabilizar sua tensão máxima. A frequência desse sinal convertido determina a rotação do motor.

Sonda Lambda

Este sistema utiliza um sensor de oxigênio, do tipo não aquecido, localizado próximo ao cabeçote do motor (na saída do coletor de escape) ou próximo do conversor catalítico - Figura 86.

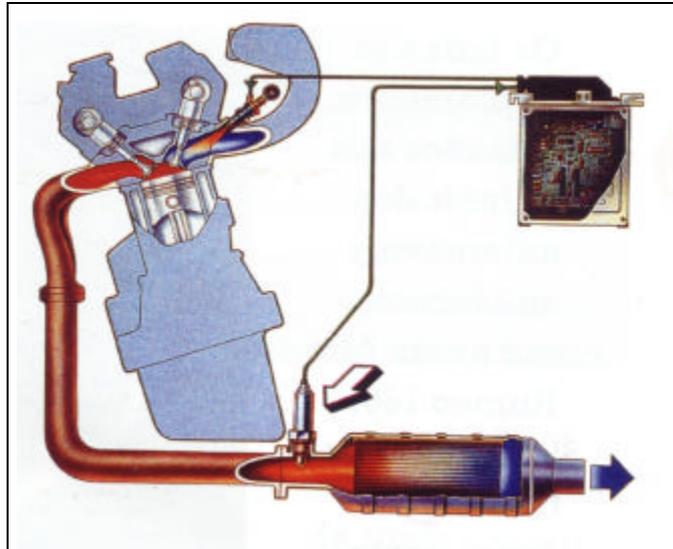


Figura 86 – Sonda Lambda

O sensor de oxigênio é construído de Dióxido de Zircônio (ZrO_2) ou de Dióxido de Titânio⁷ (TiO_2) e coberto por uma camada de platina - Figura 88.

Nos sensores de ZrO_2 , quando a mistura ar/combustível está rica, a voltagem do sensor de oxigênio é alta. Se a mistura estiver pobre a voltagem do sensor de oxigênio é baixa. A voltagem varia entre aproximadamente 100 milivolts (mistura pobre) a 900 milivolts (mistura rica), conforme a quantidade de oxigênio presente nos gases de escape. Nos sensores de TiO_2 , o comportamento é oposto (tensão maior = mistura pobre; tensão menor = mistura rica).

O sensor produz tensão somente depois de atingida a temperatura operacional superior a $300^{\circ}C$. Quando o sensor está frio, será medida a voltagem de referência de 380 milivolts. Isto indica circuito aberto (condição normal para um sensor de oxigênio frio).

⁷ Sensores de Dióxido de Titânio não são utilizados no mercado nacional.

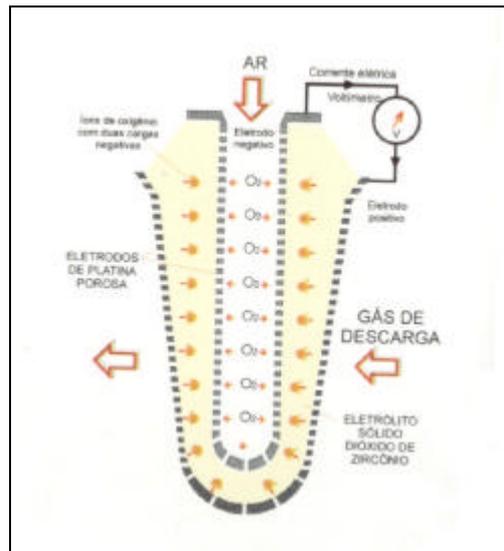


Figura 87 – Esquema da Sonda Lambda

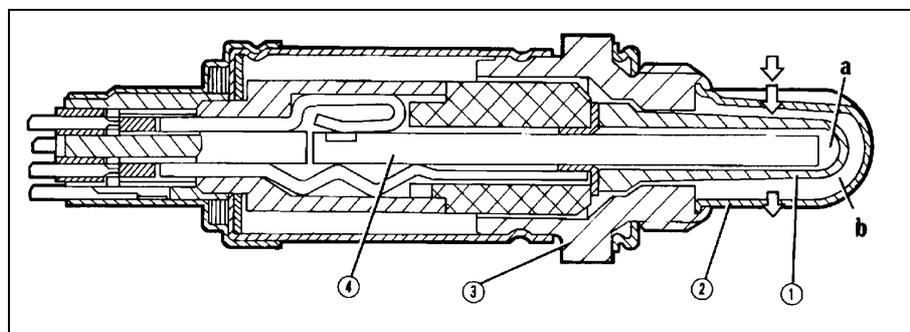


Figura 88 – Partes da Sonda Lambda

onde:

1	Corpo de Cerâmica	3	Corpo de Metal
2	Tubo de Proteção	4	Resistência Elétrica
a	Eletrodo (+) em contato com ar externo	b	Eletrodo (-) em contato com gases de escape

Quando o dedal é preenchido com ar rico em oxigênio e o lado externo é exposto com o oxigênio dos gases de exaustão, uma reação química no sensor produz uma tensão tal qual à produzida por um par de metais numa pilha - Figura 87. Quando aquecido, a reação química do sensor ocorre por causa da diferença entre os níveis de oxigênio entre o gás monitorado e o ar externo. O nível de tensão monitorada depende da taxa entre os dois lados do dedal. A tensão de saída é inversamente proporcional ao nível de oxigênio.

No mercado nacional é comum encontrarmos sensores de oxigênio com 01, 03 ou 04 fios condutores.

Sensor com um fio

Conhecido como sonda lambda não aquecida – EGO (Exhaust Gas Oxygen Sensor), seu aquecimento ocorre somente devido ao contato direto do mesmo com os gases de escape. Possui somente o fio de saída do sinal. Seu aterramento é feito na própria carcaça - Figura 89.



Figura 89 – Esquema da Sonda Lambda EGO

Sensor com três fios

Conhecido como sonda lambda HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor), possui o fio de saída de sinal e os fios de alimentação do resistor de aquecimento. Seu aterramento é feito na própria carcaça - Figura 90.



Figura 90 – Esquema da Sonda Lambda HEGO, 3 fios

Sensor com quatro fios

Conhecido como sonda lambda HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor), possui o fio de saída de sinal, os fios de alimentação do resistor de aquecimento e o fio de aterramento do sensor - Figura 91.

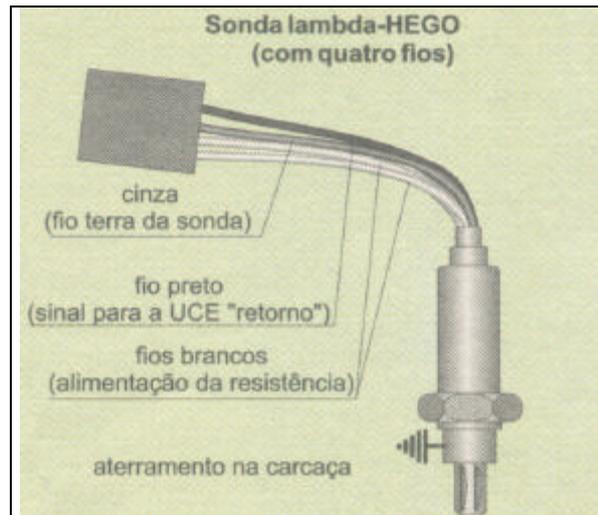


Figura 91 – Esquema da Sonda Lambda HEGO, 4 fios

Fator Lambda

Para facilitar a análise e da combustão e a qualidade das emissões no escapamento, em função do tipo de mistura, é definido um número, denominado **Fator Lambda**, que resulta numa relação de medidas.

Tabela 3 – Valores do Fator Lambda

Valores lambda	misturas	excessos
> 1	Pobre	Ar
< 1	Rica	Combustível
= 1	ideal	Não há

$$\text{Fator Lambda} = \frac{\text{Relação ar combustível real}}{\text{Razão ar combustível estequiométrica}}$$

Na prática, os motores a gasolina ou álcool atuam melhor com misturas próximas a **lambda=1**. Quando é necessária máxima potência, a mistura admitida deverá ser rica **lambda<1**. Quando se pretende economia, a mistura deverá ser pobre, próxima de **lambda=1**.

A Figura 92 apresenta um gráfico qualitativo da variação de alguns parâmetros significativos, e da concentração de poluentes nos gases de escape, em função do fator lambda.

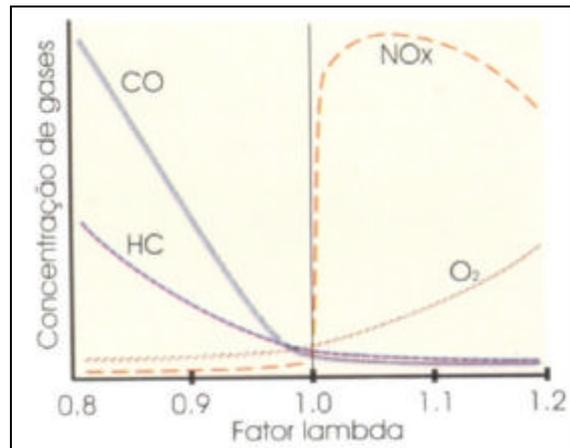


Figura 92 – Concentração de Gases x Fator Lambda

Sensor de Detonação (KS)

O sensor de detonação é montado na parte inferior do bloco do motor, no lado do coletor de escapamento (Figura 93). O sensor envia um sinal à Unidade de Comando para indicar que existe detonação. O motor é regulado para funcionar com o máximo desempenho e economia de combustível e ao mesmo tempo, permitir que o ponto de ignição seja atrasado nas condições extremas, quando há detonação. Isso impede danos graves ao motor.

Um Filtro de Processamento (SNEF) processa o sinal enviado pelo sensor de detonação e retorna a unidade de comando um sinal para ajuste do ponto eletrônico da ignição (EST).

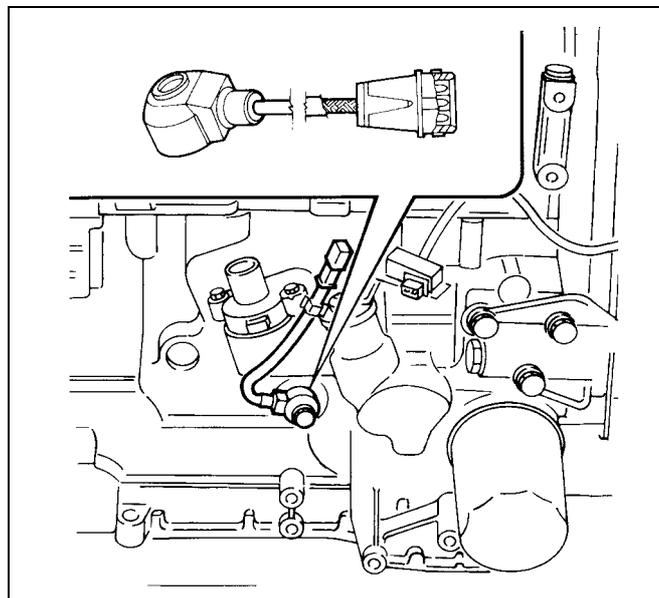


Figura 93 – Sensor de Detonação

O sistema MULTEC B2/MPFI está equipado com um mecanismo de controle eletrônico de avanço de ignição. Este sistema está composto de sensor de detonação (KS) e de um SNEF do sinal do sensor de detonação.

A função do módulo SNEF é filtrar os sinais não desejados emitidos pelo sensor de detonação. Os sinais não desejados que passam pela unidade de comando, tais como ruídos e

vibrações, normais do funcionamento do motor, podem resultar em atraso da ignição. Suportes soltos, parafusos de montagem, etc., podem constituir uma fonte de falsos sinais de detonação, que resultam em atraso da ignição.

A detonação ocorre logo após o PMS (ponto morto superior do motor) e dura aproximadamente 3 a 5 milissegundos. Portanto, supõe-se que o SNEF produza sinais verdadeiros de detonação somente durante aquele período. Qualquer outro pulso gerado entre um período e outro é causado portanto, por ruídos do motor. Para rejeitar esses pulsos é usada uma janela.

A janela é definida por um ângulo inicial e um final, relativo ao sinal do PMS. O período de demora entre a ocorrência da detonação e o surgimento de uma indicação de detonação deve ser considerado quando da definição dos limites da janela de detonação.

Este período de demora é causado principalmente pelo tempo de propagação do sinal do sensor de detonação e pelo filtro SNEF. Uma detonação que ocorreu a 10 graus APMS gerará um sinal de detonação a 15 graus DPMS (após o ponto morto superior) a 1000rpm; e a 50 graus DPMS a 5000rpm.

Quando o sensor detecta detonação, a unidade de comando atrasa a ignição a um nível seguro e a seguir avança a ignição progressivamente, até que a detonação seja novamente detectada e o ciclo seja repetido. O sensor de detonação produz uma saída de tensão alternada que aumenta conforme a severidade da detonação.

Durante os diversos regimes de funcionamento dos motores, podem ocorrer combustões aleatórias popularmente denominadas “batidas de pinos” ou detonações.

Essas detonações, dão origem a vibrações mecânicas dentro da câmara de combustão as quais são prejudiciais ao rendimento e a vida útil do motor.

O sensor de detonação - KS está normalmente parafusado no bloco do motor e tem como elemento sensor um cristal piezo-elétrico. Esse material quando é submetido a deformações mecânicas, gera tensões elétricas (volts -VAC) em sua superfície.

Dessa forma, o sensor é capaz de captar, “ouvir”, as vibrações provocadas pelo fenômeno da detonação, transformando-as em sinal elétrico o qual é enviado a unidade de comando eletrônico do sistema UCE.

Quando a UCE detecta sinal de detonação do sensor, atrasa o ponto de ignição (obedecendo uma estratégia específica que varia de sistema para sistema de injeção), objetivando solucionar o problema. Uma vez desaparecida a detonação, a UCE volta, em pequenos passos, ao ângulo de avanço inicial.

Sensor de Posição da Borboleta de Aceleração (TPS)

TPS – Throttle Position Sensor

A posição da borboleta é uma das informações utilizadas para o cálculo da quantidade de combustível. Outra função do TPS é informar à unidade de comando, os movimentos da borboleta de aceleração, para fins de aceleração e desaceleração. Neste caso o TPS executa função equivalente à da bomba de aceleração de um carburador.

Quando a borboleta de aceleração está fechada, o sinal de saída do TPS é tipicamente de 0,45 a 0,55V. A tensão aumenta em proporção a abertura da placa da borboleta de aceleração, até atingir aproximadamente 4,8 volts na condição de totalmente aberta (100% de abertura). Para que se possa dar esta variação de tensão, o TPS é munido de um resistor com escala variável.

A unidade de comando alimenta o TPS com a tensão de referência de 5 volts. O sinal do TPS em conjunto o sinal de **rpm** é utilizado pela unidade de comando enriquecer a mistura ar + combustível em plena carga (potência máxima) ou fazer com que haja corte na injeção quando a rotação do motor se mantém alta e a borboleta de aceleração fechada (condição de freio motor).

O corte no volume de injeção no freio motor é chamado de “**Cut-Off**”.

Conector de Octanagem

Tem a função de adequar as curvas de avanço de ignição à octanagem do combustível utilizado. Pode ser encontrado na forma de um conector elétrico (jumper), fusível ou um resistor calibrado - Figura 94.

No Brasil a gasolina comum é especificada com 86 unidades para o AKI (valor mínimo) e com MON mínimo de 80 unidades. A Premium é especificada com AKI de 91 unidades.

A octanagem da gasolina sofre variações de um país para o outro. Por exemplo, a gasolina comum brasileira possui octanagem RON mínima de 92 unidades. A similar argentina possui RON de 86 unidades. Isso significa, nesse caso, que a gasolina brasileira resiste mais à detonação, em baixas rotações, que a argentina.

Como exemplo, temos o Ford Fiesta com motor Endura-E (sistema FIC EEC V SFI), que possui conector de octanagem tipo fusível. Este fusível liga o terminal 27 da central que controla o sistema de injeção eletrônica-UCE à massa. Quando a UCE detecta aterramento no terminal 27, adota curvas de avanço de ignição apropriadas a gasolina nacional (92 unidades RON). Se detectar circuito aberto no terminal 27, quando se retira o fusível, passa a trabalhar com curvas de avanço mais brandas (86 unidades RON). Dessa forma torna-se possível alimentar o motor com um combustível de octanagem menor.

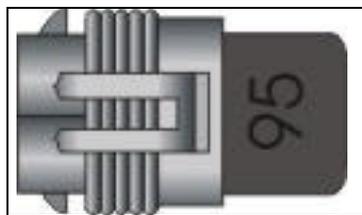


Figura 94 – Conector de Octanagem (Octanas)

Portanto, a utilização do conector de octanagem possibilita a exportação dos veículos sem a necessidade de se efetuar mudanças significativas no motor e no sistema de injeção eletrônica.

O incorreto posicionamento do conector de octanagem pode provocar sensíveis perdas de rendimento no motor. Por isso, em todas as revisões verifique o seu correto posicionamento.



Figura 95 – Localização do Conector de Octanagem (Ford Fiesta)

Atuadores

Bomba Elétrica de Combustível

Quando a ignição é ligada pela primeira vez, com o motor não funcionando, a unidade de comando ativa durante dois segundos o relé da bomba de combustível. Isto resulta em um rápido aumento de pressão na linha. Se não for dada a partida ao motor no período de dois segundos, a unidade de comando desativará o relé da bomba de combustível. Quando o motor gira para a partida, a unidade de comando ativa o relé ao receber pulsos do sensor de rotação.

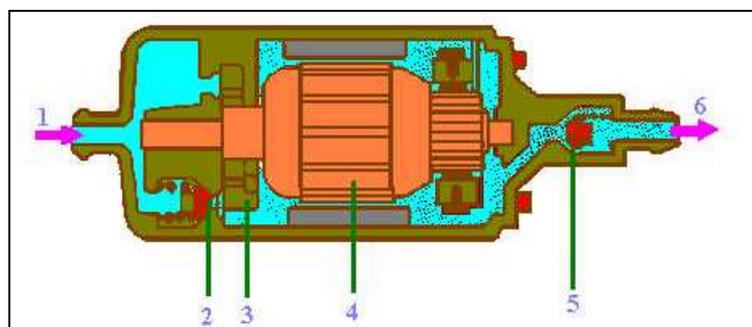


Figura 96 - Bomba de combustível "In-Line"

onde:

1	Entrada	4	Induzido do motor elétrico
2	Válvula de segurança	5	Válvula de retenção
3	Bomba de roletes	6	Saída

A bomba de combustível pode ser "In-Line" ou "In-Tank", colocada na linha de combustível ou dentro do tanque de combustível respectivamente.

Conversor Catalítico

Devido aos prejuízos causados pelas emissões, e, devido a busca de mais eficiência nos motores, foram desenvolvidos sistemas de controle do motor mais precisos, inclusive para atender à legislação vigente e o pós-tratamento dos gases de escape. Um dos métodos usados é o catalisador ou conversor catalítico, que diminui os níveis de CO, HC e NO_x. O catalisador necessita que a mistura admitida seja controlada bem próximo de $\lambda=1$.

Responsável pela “purificação” dos gases lançados na atmosfera pelo escapamento, o catalisador é um componente caro e bastante delicado. Ao contrário do que se imagina, o catalisador não é um filtro. Ele é composto de uma colméia repleta de canais, por onde o fluxo dos gases de escape é obrigado a passar. Esses canais são impregnados por um material ativo (metais preciosos como platina e ródio, por exemplo) que, com as altas temperaturas existentes no catalisador, reagem quimicamente com os poluentes e reduz em até 90% dos principais gases produzidos, transformando-os em CO₂, N₂ e H₂O - Figura 97.

Batidas em lombadas ou excesso de combustível no motor podem danificar irremediavelmente esse aparelho. Deve-se evitar dar bombeadas no acelerador ou fazer o carro pegar no tranco. Outra recomendação: nunca se deve estacionar sobre o mato ou folhas secas. Quando o motor está em funcionamento, o catalisador chega a atingir temperatura de até 800 graus e isso pode provocar risco de incêndio no automóvel, mesmo com a ignição desligada.

Para uma melhor performance do catalisador, tanto o sistema de injeção como o de ignição devem estar em perfeito estado de funcionamento, pois o mesmo trabalha em uma faixa muito estreita, que é o mais próximo da razão estequiométrica ou “janela”, como também é conhecida esta faixa de trabalho. A Figura 92 mostra que a mistura deve ser controlada em torno de $\lambda=1$ para melhor a economia com mínimo de emissões.

Deve-se fazer uma avaliação do catalisador analisando-se os índices de emissão de gases.

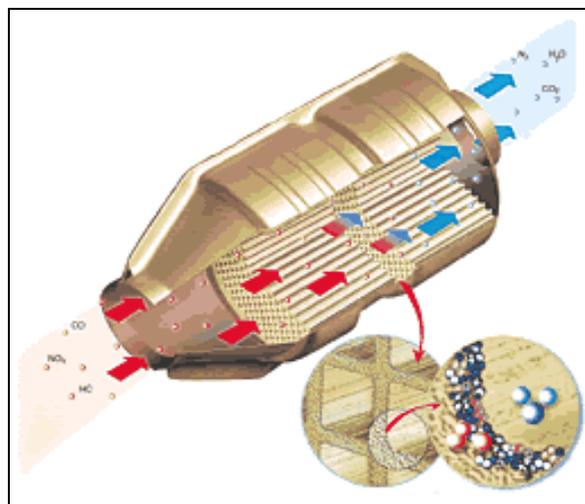


Figura 97 – Conversor Catalítico

Análise de Emissões

Os motores com ignição à centelha (Ciclo Otto: gasolina, álcool ou gás) apresentam como resultado da combustão uma série de gases que, analisados, permitem uma verificação importante do funcionamento do motor. Alguns desses gases são poluentes e por isso são

controlados pela legislação sobre emissões através do Programa Nacional de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE.

Tabela 4 – Percentagem de Gases - PROCONVE

ano de fabricação	HC	CO ₂	CO	O ₂
Após JUN/1988	< 600 ppm	> 8%	< 3%	< 7%
A partir JAN/1992	< 400 ppm	> 8%	< 2,5%	< 7%
A partir JAN/1997	< 100 ppm	> 8%	< 0,5%	< 7%

Os gases mais importantes para análise de combustão são:

HC – Hidrocarbonetos

São gases resultantes da combustão incompleta, ou seja, combustível não queimado. O HC é medido em partes por milhão (ppm) de volume. Por exemplo: uma leitura de 100ppm indica que existem 100 partes de HC para cada 1 milhão de partes de gás emitido na exaustão.

O aumento de nível de HC pode ser causado por:

- mistura muito rica
- mistura muito pobre
- temperatura baixa do motor
- compressão baixa
- ângulo de cruzamento de válvulas muito alto
- falhas de ignição
- consumo excessivo de óleo do cárter
- ignição avançada

Nos veículos com catalisador em bom estado, o nível de HC é muito baixo. Para uma boa análise, a leitura deve ser feita antes do catalisador. Um índice de HC elevado após o catalisador pode ser problema do motor ou próprio catalisador.

CO - Monóxido de Carbono

Gás resultante da combustão na qual a quantidade de ar é insuficiente para uma queima completa do combustível. A medida de CO é feita em porcentagem de volume (%). Os veículos em boas condições, equipados com catalisador, devem produzir um teor muito baixo de CO. Para cada tipo de motor existe uma especificação de CO determinada pelo fabricante do veículo. Um índice muito baixo de CO (mistura pobre) pode causar superaquecimento, pré-ignição e outras conseqüências que prejudicam o bom funcionamento do motor.

Por outro lado, um índice alto (mistura rica) pode causar carbonização em várias partes do motor, problemas na sonda lambda e catalisador, além de excesso de consumo. O aumento do nível de CO pode ser causado por:

- ajuste de mistura incorreto
- ponto inicial de ignição muito avançado
- carburador com componentes (bóia, giclês, afogador) descalibrados
- filtro de ar entupido
- sonda lambda
- sensores com defeito
- óleo contaminado(respiro do carter)

- compressão dos cilindros
- pressão da bomba de combustível alta
- válvulas injetoras
- catalisador
- motor frio

CO₂ - Dióxido de Carbono

Conhecido como gás carbônico, é resultante direto da combustão, podendo ser usado como indicador da eficiência da combustão, principalmente em veículos com catalisador, já que qualquer interferência na combustão afeta o índice de dióxido de carbono.

A razão ar/combustível afeta diretamente o índice de CO₂. Para um veículo em condições normais o índice de CO₂ deve estar entre 13% e 16% (mínimo de 8%).

O₂ – Oxigênio

O oxigênio é o gás responsável pela combustão (queima) e a quantidade existente no escapamento indica se a mistura está pobre ou rica, principalmente em veículos com catalisador. Em marcha lenta, um veículo com catalisador deve apresentar um índice de O₂ entre 1% e 4%. Índices elevados de O₂ indicam mistura pobre, enquanto que valores muito baixos indicam mistura rica.

Observe que a Tabela 5 especifica valores para os quatro gases. Quando se prepara um veículo para inspeção há a necessidade de se colocar os 4 gases dentro dos limites especificados de acordo com o ano de fabricação. Nos casos de veículos carburados mais velhos, as faixas para inspeção são bastante largas. Neste caso, deve-se usar os índices de CO e HC divulgados nas tabelas com valores específicos para cada veículo (tabela da CETESB). No início da inspeção, os órgãos usarão tolerâncias mais largas de aprovação, como na tabela abaixo para veículos sem catalisador.

Tabela 5 – Exemplo usado no início das inspeções em SP e RJ

Ano	% CO máx.	%CO ₂ + %CO mín.	ppm HC máx.	CO corrigido máx
até 79	7,0	6,0	1100(A) 700(G)	5,0
de 80 a 88	6,5	6,0	1100(A) 700(G)	5,0
de 89 a 91	6,0	6,0	1100(A) 700(G)	5,0
de 92 a 96	5,0	6,0	1100(A) 700(G)	5,0
97	1,5	6,0	1100(A) 700(G)	5,0

Os requisitos devem ficar cada vez mais exigentes. Porém, se trabalharmos com base na Tabela 5, teremos certeza de que o veículo sempre estará dentro das condições legais.

Feito um levantamento de vários automóveis chegou-se aos seguintes valores médios:

Tabela 6 – Valores médios de Gases de Exaustão

Tipo	% CO	%CO ₂	%O ₂	HC ppm	CO corr.
Carburados	1,7	13,5	0,9	220	1,6
Injetados	6,50,7	1412	0,5	210	0,8

Observe na Tabela 6 que com esses resultados nenhum desses carros seriam rejeitados na inspeção. Esta tabela nos dá uma idéia dos níveis que vamos encontrar na prática com veículos usados de anos diferentes.



<http://autoesporte.globo.com/edic/ed414/servico.htm>

Válvulas Injetoras

As válvulas injetoras estão alojadas no coletor de admissão (sistema multiponto) próximo às válvulas de admissão. No sistema monoponto ela está localizada na tampa do corpo de borboleta. Sua função é pulverizar o combustível proveniente da linha de pressão. A válvula injetora é um atuador cujo momento e tempo de abertura é determinado pela unidade de comando.



Figura 98 - Bicos das válvulas injetoras monoponto / multiponto

O injetor é uma válvula eletromagnética, que ao receber pulsos da unidade de comando (valor negativo), recolhe seu êmbolo (válvula de agulha) permitindo a passagem do combustível. Durante a fase de abertura, esse êmbolo recolhe-se cerca de 0,1 mm do seu assento.

Motor de Passo da Marcha Lenta (IAC)

Controla a rotação do motor em marcha-lenta. A válvula IAC altera a rotação da marcha-lenta ajustando o ar da derivação, de modo a compensar as variações de carga do motor. Esta válvula é um atuador controlado pela unidade de comando e possui um motor de passo, cujo movimento aumenta ou diminui a quantidade de ar admitido.



Figura 99 - Atuador de marcha lenta

O motor de passo está montado na carcaça do corpo da borboleta. O motor de passo, comandado pela unidade de comando, retrai o êmbolo cônico (para aumentar o fluxo de ar) ou o estende (para reduzir o fluxo de ar), aumentando e reduzindo, desta forma, a rotação da marcha-lenta do motor.

Durante a marcha-lenta, a posição do êmbolo cônico é calculada baseada nos sinais de voltagem da bateria, temperatura do líquido de arrefecimento (ECT) e carga do motor (MAP).

Sistema de Ignição Direta (DIS)

O sistema de ignição direta (DIS) é composto de um conjunto de bobinas e um módulo de potência integrados num único módulo selado.

As informações sobre avanço e ponto de ignição são enviadas, pela unidade de comando ao módulo de potência que energiza a bobina e limita a corrente da mesma (para controlar a dissipação de potência primária).

Para controlar o DIS, a unidade de comando utiliza dois sinais (EST A e EST B). O impulso na linha *EST*. A energiza a primeira bobina (cilindros 1 e 4). O pulso na linha *EST B* energiza a segunda bobina de ignição (cilindros 2 e 3). Cada bobina energiza uma vela de ignição de um cilindro contendo mistura para ignição e uma vela de outro cilindro contendo mistura queimada. A faixa de funcionamento do DIS é entre 30 a 8000rpm.

O avanço aplicado pela unidade de comando depende do estado em que se encontra o motor: girando para a partida ou funcionando. Com o motor funcionando, o avanço é mapeado e depende basicamente, da rotação, carga e temperatura do motor.

Outros Componentes do Sistema

Embora esses componentes não estejam na lista dos sensores e nem dos atuadores, são considerados de suma importância para o bom funcionamento do sistema de injeção eletrônica.

Esses componentes são:

- tanque de combustível;
- cânister;
- filtro de combustível;
- regulador de pressão;
- corpo de borboleta;
- filtro de ar;
- corpo de borboleta;

Tanque de Combustível

Um importante elemento no tanque de combustível é o seu respiro. O respiro é importante por várias razões: o ar deve ter acesso ao tanque para compensar o espaço deixado pelo combustível consumido; caso contrário, formar-se-ia um vácuo nesse espaço que anularia a ação da bomba. Outra finalidade do respiro é permitir que o combustível quando aquecido se possa expandir, ocupando o espaço existente e não permitir que o mesmo escape pelo tubo de abastecimento do tanque.

O segundo duto de respiro e dreno, mangueira de menor diâmetro que a primeira, encarrega-se de permitir a saída dos vapores de gasolina que constantemente se formam. Além disso, quando o veículo está em movimento, essa mangueira permite uma entrada de ar maior que a quantidade de combustível consumida, impedindo a formação de vácuo no interior do tanque.

Cânister

Deve haver o cuidado para que os vapores de combustível não prejudiquem o ar atmosférico. Por isso, são descarregados em um depósito que contém carvão ativado, sendo temporariamente armazenados.

Quando o motor está em funcionamento, e dependendo da exigência que lhe é feita, esses gases são periodicamente aspirados do filtro de carvão ativado e enviados para o motor, onde serão queimados como mistura. Nos motores equipados com injeção eletrônica, esse controle é feito através de uma válvula de purga, controlado por vácuo ou por corrente elétrica (essa última trabalha com uma válvula eletromagnética controlada pela unidade de comando).

Filtro de Combustível

Serve para filtrar o combustível eliminando as impurezas do mesmo.



Figura 100 - Filtro

É constituído por três elementos filtrantes (uma tela, um filtro de tecido e um filtro de papel) que garantem a máxima filtragem do combustível. Isto é de suma importância no sistema, já que, os orifícios de pulverização das válvulas injetoras são minúsculos. O filtro é envolvido por uma carcaça metálica que suporta a pressão na linha de combustível

Regulador de Pressão

Está localizado na extremidade do tubo distribuidor. Sua função é a de limitar a pressão na linha de combustível e que será pulverizada nas válvulas injetoras

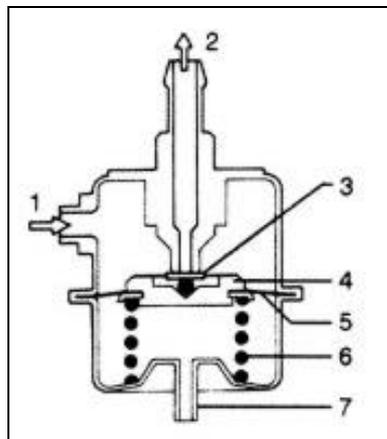


Figura 101 - Regulador de pressão

onde:

1 Entrada do combustível	4 Suporte da válvula
2 Retorna ao tanque	5 Diafragma
3 Placa da válvula	6 Mola de pressão
	7 Conexão para o coletor de admissão

Filtro de Ar

Para que o motor funcione perfeitamente, é preciso que a mistura ar + combustível esteja totalmente isenta de corpos estranhos.

Como o combustível deve ser filtrado, o ar também deve. Isso evita a formação de materiais abrasivos no interior do motor que tendem a provocar um desgaste prematuro das suas peças, como os cilindros, pistões e anéis.

Além disso, se o ar não for filtrado, poderá provocar a obstrução de certos canais presentes no corpo de borboleta, provocando marcha-lenta irregular e até falhas no funcionamento do motor.

Corpo de Borboleta

Controla o fluxo de ar admitido. O ar na marcha lenta é controlado pelo motor de passo. O sensor de posição da borboleta de aceleração (TPS) é solidário ao eixo da borboleta de aceleração.

A carcaça do corpo de borboleta possui tomadas de vácuo antes e depois da borboleta de aceleração.



Figura 102 – Corpo da Borboleta

Bateria

Embora a bateria não seja um sensor, é fundamental que esteja em ordem, para o bom funcionamento do sistema de injeção eletrônica.

A bateria utilizada nos automóveis pode ser ácida (mais comum) ou alcalina. A bateria ou acumulador, que no início do uso nos automóveis era de 6 volts (mais precisamente 6,3 volts nas baterias ácidas), é agora padronizada em 12 volts (12,6V), já que cada célula da bateria ácida de chumbo produz 2,1V. Um valor muito acima, pode danificar vários componentes eletrônicos do veículo.

Uma bateria de 12V consiste em seis células que estão ligadas em série para produzir 12V. Cada célula contém duas placas, uma de peróxido de chumbo (PbO_2) e outra de chumbo (Pb). Quanto mais puro o chumbo desta placa, melhor a qualidade e maior durabilidade da bateria. Quando estas placas são mergulhadas em eletrólito (líquido que permite a passagem de uma corrente elétrica entre as duas placas) produz-se uma reação. Nas baterias de chumbo-ácido, o eletrólito geralmente utilizado é o ácido sulfúrico – H_2SO_4 .

O terminal positivo de cada célula é a placa de peróxido de chumbo e o terminal negativo é a placa de chumbo puro, que fica com um aspecto esponjoso quando a célula está completamente carregada. A proporção que corrente elétrica é drenada pelos circuitos exteriores, uma reação ocorre, transformando a placa, esponjosa e o peróxido da placa positiva em sulfato de chumbo ($PbSO_4$), reduzindo o ácido sulfúrico do eletrólito para água (H_2O). A decomposição do ácido sulfúrico faz com que se reduza a densidade da solução do eletrólito. Se o consumo ou dreno externo da eletricidade continuar, a voltagem de cada

célula diminuir vagarosamente, porém, a condição de fornecer fluxos intensos de corrente cai rapidamente.

Para se medir uma bateria, o método correto é verificar a densidade do eletrólito com um densímetro (Figura 103). Quando a densidade é menor que 1.200g/cm^3 , a bateria já não está adequada para uso. Valores apropriados situam-se entre 1.250 e 1.275g/cm^3 . Quanto mais baixa a densidade (1.250), maior a durabilidade da bateria, observando-se apenas que, para climas frios, a densidade deve ser um pouco maior (1.275).

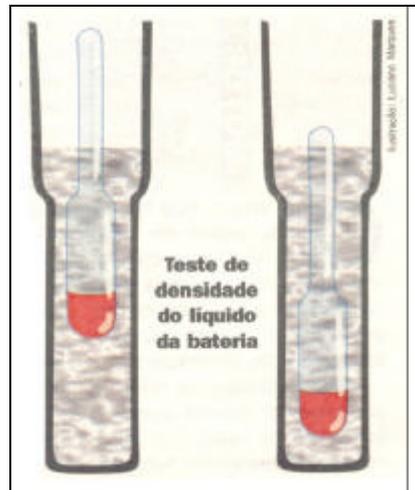


Figura 103 – Densímetro

Pelo posicionamento da pipeta sabe-se a densidade do líquido e, portanto, a carga. O líquido da bateria carregada (eletrólito) é mais denso, sendo assim a pipeta flutua mais alto.

Cuidados com a Bateria

- Não dar partida com os cabos mal conectados;
- Não utilizar duas ou mais baterias para dar partida (ligação série);
- Não retirar a bateria com o motor em funcionamento;
- Não inverter os terminais;
- Não desligar nenhum conector do sistema com a ignição ligada ou com o motor em funcionamento;
- Fazer manutenção preventiva

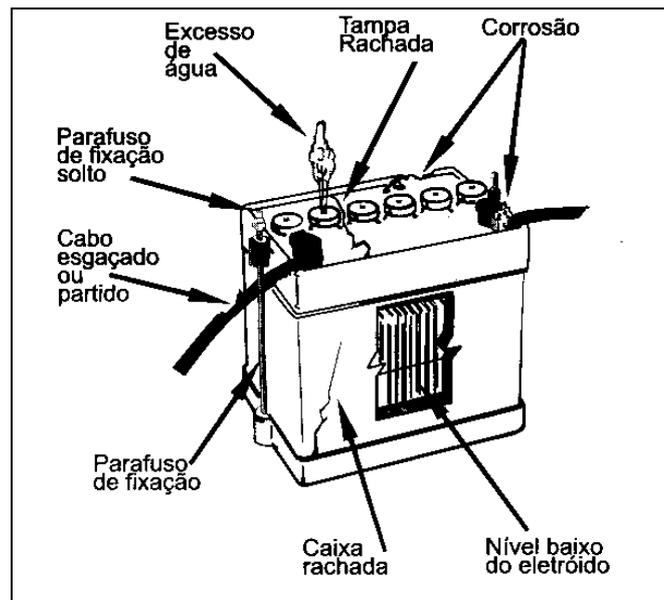


Figura 104 – Possíveis problemas em baterias

Estratégias de Controle do Sistema

Baseando-se no sistema Magneti Marelli – Weber I.A.W. – 1ABG.80, que equipa a motorização 1581 i.e. 16V da FIAT⁸, discute-se abaixo as estratégias de controle do sistema de injeção eletrônica.

Dentro da memória da central eletrônica existe um programa de controle composto de uma série de estratégias, as quais comandam, separadamente, uma bem precisa função de controle do sistema.

Utilizando informações (input) recebidas dos diversos sensores, cada estratégia elabora uma série de parâmetros baseando-se nos mapas dos dados memorizados em áreas específicas da central eletrônica e, em seguida, comanda os atuadores (output) do sistema, que são os dispositivos que fazem com que o motor funcione, tais como:

- eletroinjetores;
- bobinas de ignição;
- eletroválvulas de diversos tipos;
- eletrobomba de combustível;
- atuador da marcha lenta do motor;
- relés de comando.

As estratégias programadas na centralina, controlam, da melhor maneira, o instante da ignição e a quantidade do combustível, garantindo sempre uma mistura correta de acordo com as variações de carga do motor e as condições ambientais.

As estratégias de controle do sistema são:

- controle do conjunto de sinais;
- controle da injeção de combustível;
- controle da função de bloqueio da partida do motor (se houver);
- controle da ignição;

⁸ FIAT; Manual de Reparações – FIAT PALIO.

- controle da marcha lenta do motor;
- controle da recirculação dos vapores do combustível;
- controle da diagnose e
- controle do sistema de climatização.

Controle do Conjunto de Sinais

No momento da partida, quando o sensor de rotação encontra o espaço livre maior devido à falta de dois dentes na roda fônica (Figura 85), a central eletrônica efetua, juntamente com o sinal do sensor de fase, o reconhecimento da fase da injeção e da ignição, que são fundamentais para o funcionamento de todas as estratégias.

Este reconhecimento é atuado com base na interpretação da sucessão dos sinais provenientes do [sensor de rotação](#) situado na polia da árvore de manivelas e pelo sensor de fase situado na polia da árvore de comando de válvulas, no lado da admissão.

No sistema discutido, o conjunto de sinais é constituído de sinais provenientes:

- da roda fônica junto à polia da árvore de manivelas, com (60-2) 58 dentes e um espaço angular maior de 18° (correspondente à falta de dois dentes) para o reconhecimento do PMS.
- de um disco montado internamente à polia da árvore de comando de válvulas no lado da admissão, com 03 aberturas de tamanhos diferentes.

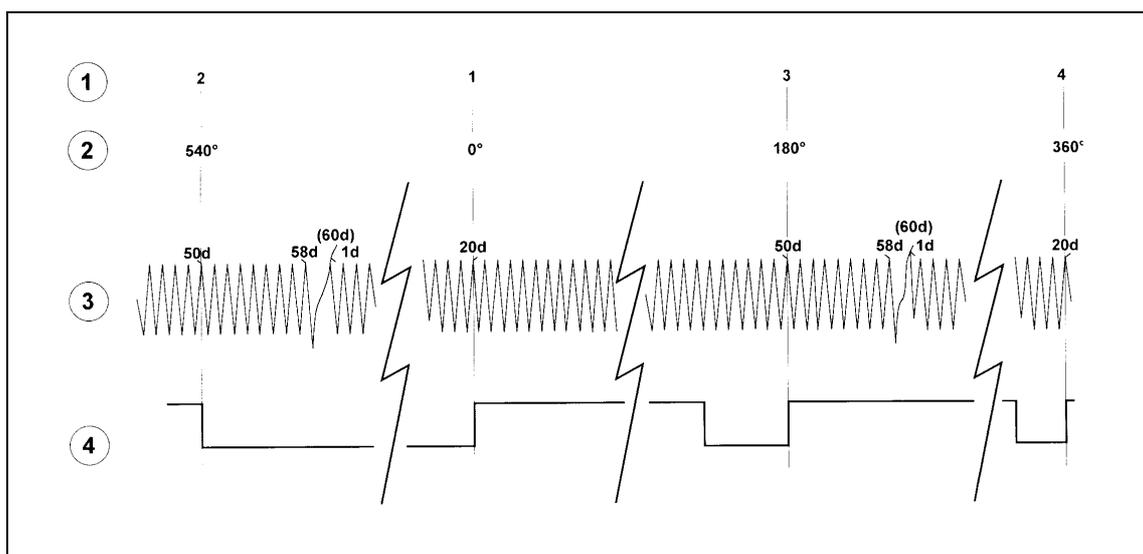


Figura 105 – Sinais recebidos pela UCE

onde:

1 PMS dos cilindros	3 Sinal da roda fônica da árvore de manivelas (sensor de rotação do motor)
2 Ângulos da árvore das manivelas	4 Sinal do disco da árvore de comando de válvulas (sensor de fase do motor)

Controle da Injeção de Combustível

As estratégias de controle da injeção têm o objetivo de fornecer ao motor a quantidade de combustível correta e no momento certo, em função das condições de funcionamento do motor.

O sistema de injeção/ignição utiliza um sistema de medida indireta do tipo “Speed Density-Lambda”, ou seja, velocidade angular de rotação, densidade do ar aspirado e controle da relação estequiométrica da mistura (realimentação).

Na prática, o sistema utiliza os dados de Regime do Motor (RPM) e Densidade do Ar (pressão e temperatura) para medir a quantidade de ar aspirado pelo motor.

A quantidade de ar aspirado por cilindro, para cada ciclo do motor, depende, além da densidade do ar aspirado, da cilindrada unitária e da eficiência volumétrica. Por densidade do ar, se entende a quantidade de ar aspirado pelo motor e calculada em função da pressão absoluta e da temperatura, ambas detectadas no coletor de admissão. Por eficiência volumétrica, se entende o parâmetro referente ao coeficiente de enchimento dos cilindros detectado com base em experimentos feitos no motor em todo o campo de funcionamento e, depois, memorizados na central eletrônica.

Estabelecida a quantidade de ar aspirado, o sistema deve fornecer a quantidade de combustível em função da relação de mistura desejada.

O instante de final da fase de injeção ou fase de distribuição consta num mapa memorizado na central eletrônica e é variável em função do regime do motor e da pressão no coletor de admissão. Em prática, trata-se das elaborações que a UCE efetua para comandar a abertura seqüencial e fasada dos 04 eletroinjetores, um por cilindro, por um tempo estritamente necessário para formar a mistura ar-combustível mais próxima à relação estequiométrica.

O combustível é injetado diretamente no coletor perto das válvulas de admissão com uma pressão diferencial de cerca de 03 bar.

Enquanto que a velocidade (rpm) e a densidade do ar (pressão e temperatura) são utilizadas para medir a quantidade de ar aspirado e estabelecer a quantidade de combustível em função da relação da mistura desejada, os outros sensores presentes no sistema (temperatura do líquido de arrefecimento, posição da borboleta, tensão da bateria, etc.) permitem que a UCE corrija a estratégia de base para todas as condições especiais de funcionamento do motor.

Fazer com que a relação ar-combustível oscile ao redor de valores estequiométricos é a condição indispensável tanto para o funcionamento duradouro e correto do conversor catalítico como para a redução das emissões poluentes.

A relação estequiométrica é obtida utilizando uma [sonda lambda](#) de tipo aquecido, como visto anteriormente.

Autoadaptação

A UCE está provida com uma função de autoadaptação da mistura que tem a função de memorizar os desvios entre o mapeamento de base e as correções impostas pela sonda lambda que podem aparecer de maneira persistente durante o funcionamento. Estes desvios, devidos ao envelhecimento dos componentes do sistema e do próprio motor, são memorizados permanentemente, permitindo uma adaptação do funcionamento do sistema às progressivas alterações do motor e dos componentes em relação às características do motor quando era novo. As correções memorizadas não são perdidas mesmo desligando a bateria ou a UCE.

Esta estratégia é desativada durante os períodos de abertura da eletroválvula interceptadora dos vapores do combustível. Se a UCE for substituída, é necessário deixar o motor “funcionar” em marcha lenta por alguns minutos (com o motor quente) para que a central eletrônica possa rememorar as correções. As correções em regimes acima da marcha lenta são memorizadas durante as condições normais de direção.

A UCE também está provida com uma outra função de autoadaptação que corrige a abertura do atuador de marcha lenta do motor durante a fase de marcha lenta, com base nas variações devidas a infiltrações de ar no corpo de borboleta e ao envelhecimento natural do motor. Esta correção específica é perdida se a bateria ou a UCE for desligada.

Partida e Pós Partida

No momento da partida não é possível reconhecer instantaneamente a fase do motor e, conseqüentemente, não é possível efetuar a injeção fasada para a primeira injetada de cada cilindro.

Durante as primeiras rotações do motor, é efetuada uma primeira injetada simultânea (full-group), porque as variações da rotação na fase de marcha lenta não permitem um cálculo correto da fase de injeção. Só depois de alguns instantes a injeção é de tipo fasado.

O tempo de injeção “base” é aumentado por um coeficiente multiplicativo por todo o tempo de tracionamento do motor pelo motor de partida. Depois da partida, o coeficiente é gradualmente reduzido até desaparecer dentro de um tempo determinado que, quanto menor for a temperatura do maior, maior será - Figura 106.

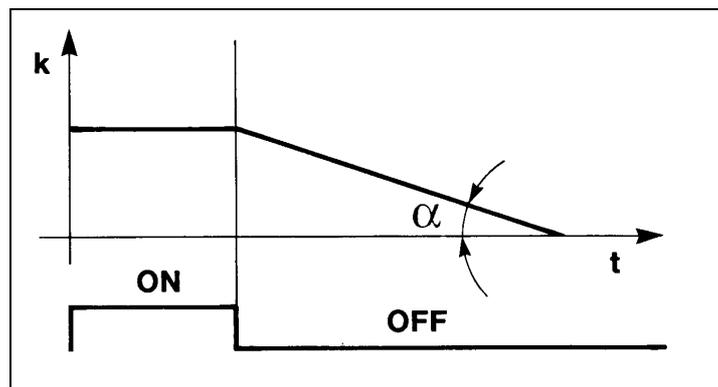


Figura 106 – Coeficiente de enriquecimento em função do tempo

onde:

k	Coeficiente de enriquecimento	ON	motor tracionado (durante a partida)
t	Tempo	OFF	motor funcionando (depois da partida)

Funcionamento a Frio

Nestas condições, acontece um empobrecimento natural da mistura devido à insuficiente turbulência das partículas do combustível às baixas temperaturas, uma evaporação reduzida e uma forte condensação nas paredes internas do coletor de admissão, tudo isto aumentado pela maior viscosidade do óleo de lubrificação que, como se sabe, com baixas temperaturas aumenta a resistência à rotação dos órgãos mecânicos do motor.

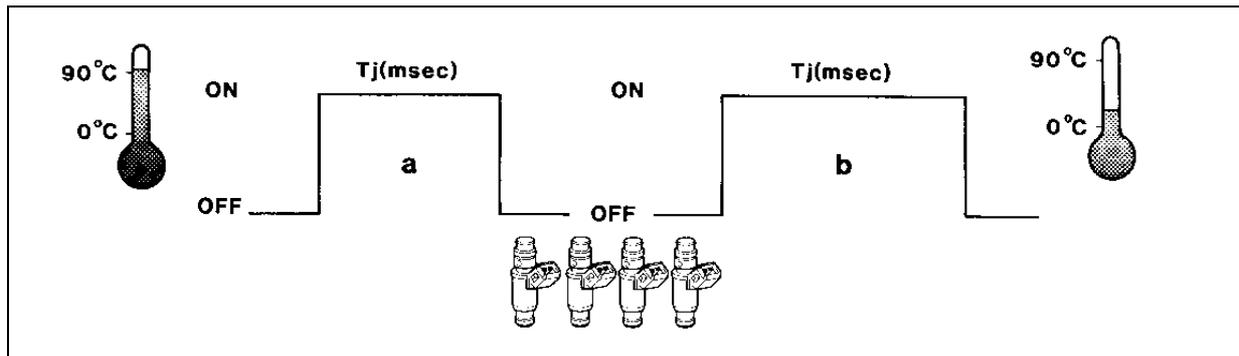


Figura 107 – Tempo de injeção de combustível com motor frio

A UCE reconhece esta condição e corrige o tempo de injeção com base no sinal de temperatura do líquido de arrefecimento do motor.

Conseqüentemente:

- com temperaturas muito baixas, o eletroinjetor fica aberto por mais tempo (tj) diagrama (b), com uma relação ar/combustível baixa (muito rica) - Figura 107;
- quanto mais aumentar a temperatura do motor, mais curta será a abertura do eletroinjetor, (tj) diagrama (a) e, por conseguinte, maior será a relação ar/combustível (mistura pobre).

A Napro⁹, em seus laboratórios desenvolveram tabelas que apresentam parâmetros para a UCE no que toca ao tempo de injeção de combustível, Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 7 - Temperatura do Motor x Tempo de Injeção

Temperatura do motor (°C)	-36	-29	-24	-18	-13	-7	-2	4	10	18	28	40	60	>60
Tempo de Injeção (ms)	4,6	4,5	4,3	4,0	3,7	3,3	3,1	2,9	2,6	2,3	1,8	1,0	0,3	0

Tabela 8 - Temperatura do Ar x Tempo de Injeção

Temperatura do ar (°C)	-36	-29	-24	-18	-13	-7	-2	4	10	18	28	40	60	>60
Tempo de Injeção (ms)	1,37	1,28	1,20	1,04	0,97	0,90	0,83	0,75	0,68	0,48	0,35	0,18	0,04	0

Durante a fase de aquecimento do motor, a UCE também pilota o motor de passo que determina a quantidade de ar necessária para garantir a rotação de marcha lenta do motor. O ar é admitido através da válvula auxiliar de ar. O medidor de vazão transmite ao módulo informes sobre esse fluxo extra de ar admitido, o qual, por sua vez, promove o enriquecimento da mistura - Figura 110.

Funcionamento em Plena Carga

Em condições de plena carga, é necessário aumentar o tempo base de injeção para obter a máxima potência fornecida pelo motor. A condição de plena carga é detectada pela

⁹ Napro Eletrônica Industrial – www.napro.com.br

UCE através dos valores fornecidos pelos sensores de [posição da borboleta](#) e de [pressão absoluta](#) - Figura 111.

Com base nestas informações, a UCE faz a devida correção, aumentando o tempo base de injeção.

Funcionamento em Desaceleração

Durante esta fase de utilização do motor, acontece a sobreposição de duas estratégias:

- uma estratégia de regime transitório negativo para manter estequiométrica a quantidade de combustível fornecida ao motor (menor poluição);
- uma estratégia de acompanhamento lento nas rotações inferiores (dash-pot) para atenuar a variação de torque fornecida (menor freio motor).

Quando o sinal do potenciômetro indica borboleta fechada e a rotação for elevada, a UCE, agindo no atuador de marcha lenta do motor, diminui, de maneira gradual, a quantidade de ar que passa através do by-pass.

Correção Barométrica

A pressão atmosférica varia em função da altitude, determinando uma variação da eficiência volumétrica tal, que é necessário corrigir o tempo base de injeção. A correção será em função da [variação de altitude](#) e será atualizada automaticamente pela UCE, cada vez que o motor for desligado em determinadas condições de posição da borboleta e de número de rotações (tipicamente com baixa rotação e borboleta muito aberta – adaptação dinâmica da correção barométrica).

Funcionamento em “Cut-Off”

A estratégia de “cut-off” (corte de combustível em desaceleração) é efetuada quando a UCE reconhece a borboleta na posição fechada (posição de marcha lenta através do sinal do potenciômetro da borboleta) e a rotação do motor já tenha superado cerca de 1600rpm.

O reconhecimento da borboleta em posição aberta ou a rotação abaixo de 1400rpm aproximadamente, reativará novamente a injeção de combustível - Figura 112. Para rotações muito altas, é efetuado o cut-off mesmo em condições de borboleta não completamente fechada, mas com pressão no coletor de admissão particularmente baixa (cut-off parcial).

Funcionamento em Aceleração

Nesta fase, a UCE aumenta adequadamente a quantidade de combustível exigida pelo motor (para obter o torque máximo) em função dos sinais provenientes dos seguintes componentes:

- potenciômetro da borboleta;
- sensor de pressão absoluta e
- sensor de rotações e PMS.

O tempo de injeção base é multiplicado por um coeficiente em função da temperatura do líquido de arrefecimento do motor, da velocidade de abertura da borboleta aceleradora e do

aumento da pressão no coletor de admissão. Se a variação brusca do tempo de injeção for calculada quando o eletroinjetor já estiver fechado, a UCE reabre o eletroinjetor (extra pulse) para poder compensar a mistura com a máxima rapidez; as injetadas seguintes por sua vez, já são aumentadas com base nos coeficientes acima citados.

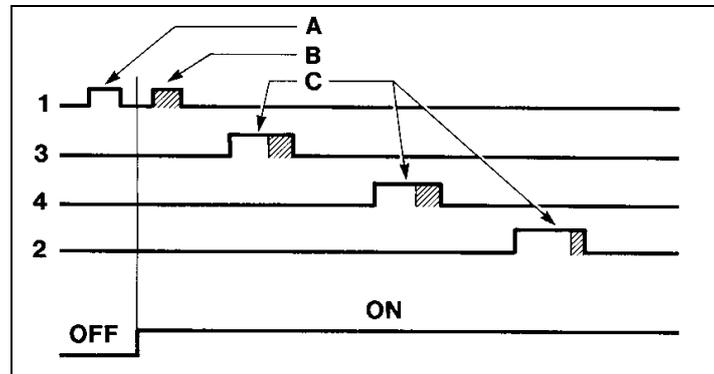


Figura 108 – Tempo de injeção de combustível

onde:

A tempo de injeção normal	ON motor em fase transitória
B reabertura do eletroinjetor (extra pulse)	OFF motor com rotação estabilizada

Pode-se então gerar um mapa relacionando o Tempo de Injeção de Combustível com as principais variáveis (carga e rotação), este mapa é então programado na UCE.

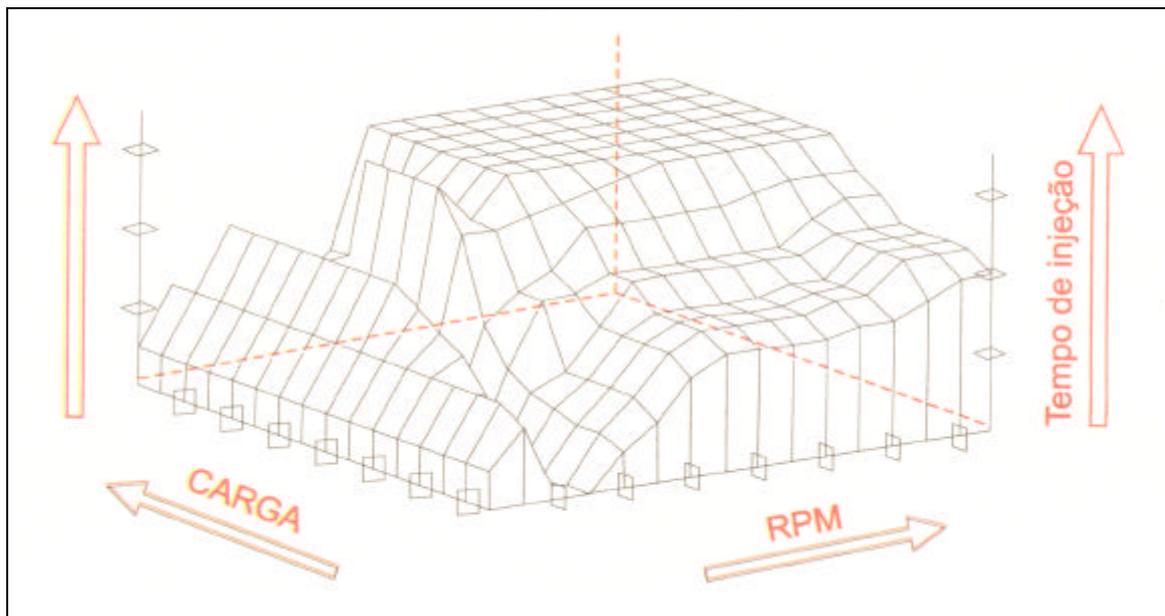


Figura 109 – Mapa de Tempo de Injeção de Combustível

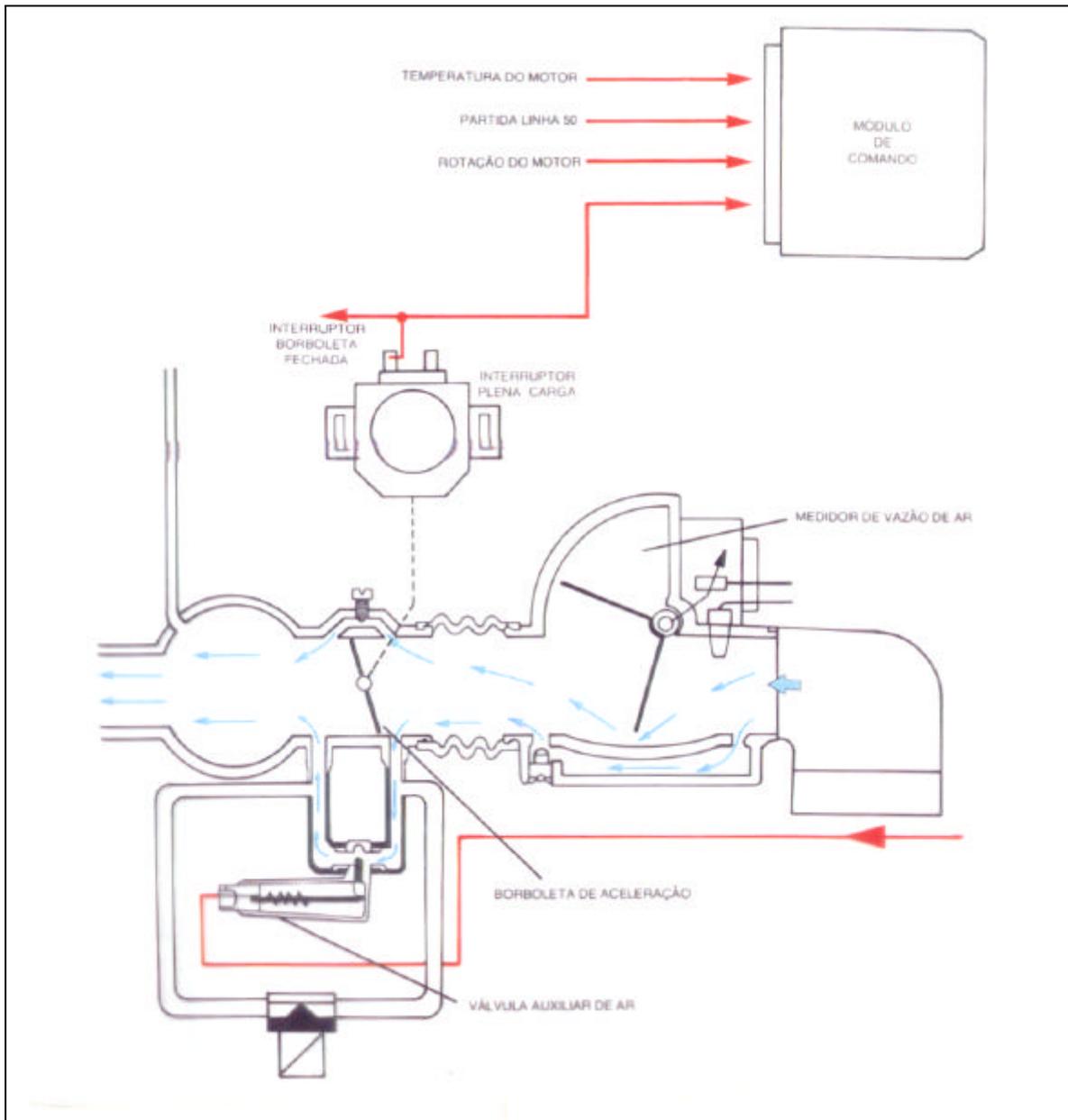


Figura 110 – Funcionamento do motor em fase de aquecimento

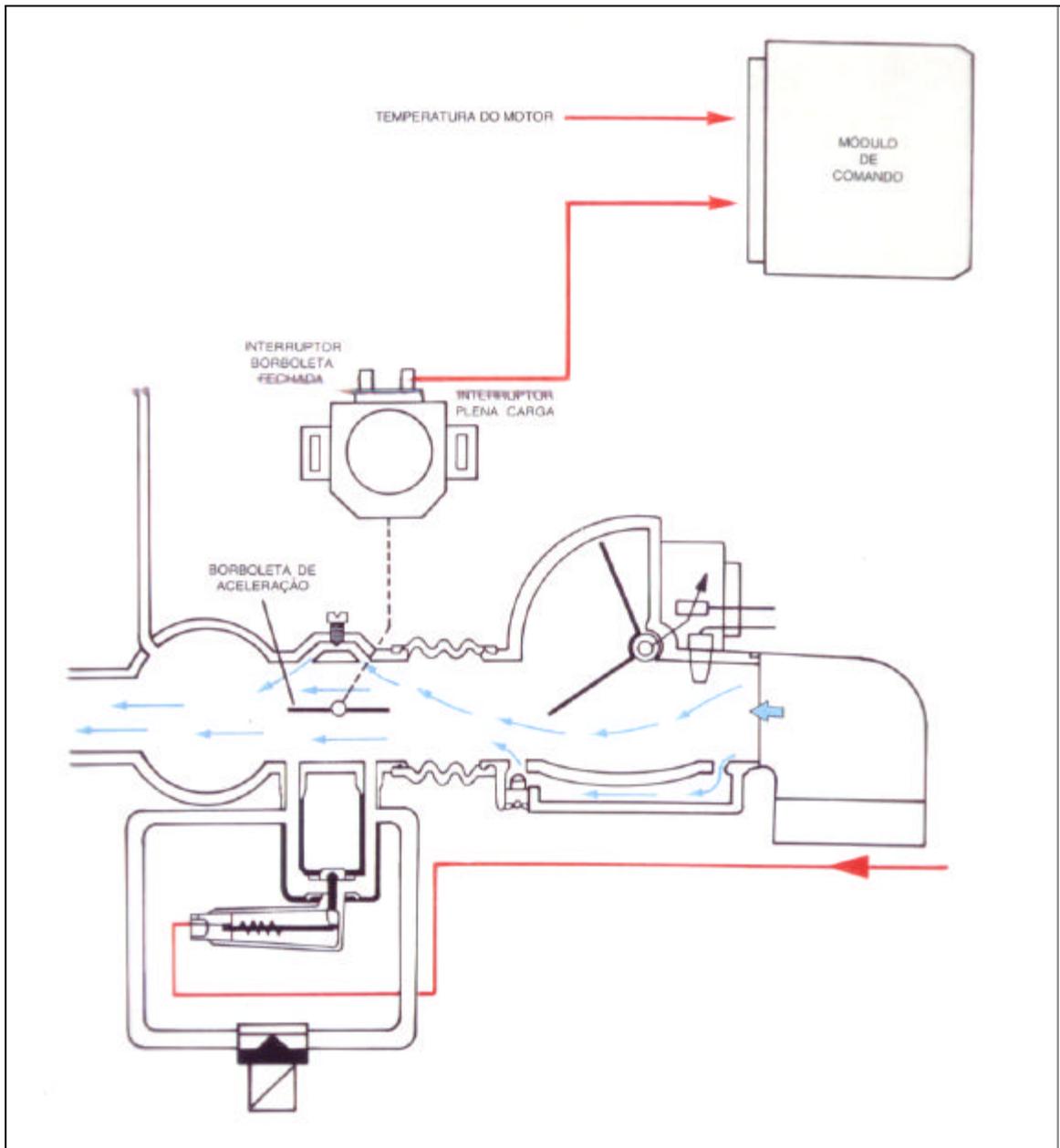


Figura 111 – Funcionamento do motor em plena carga

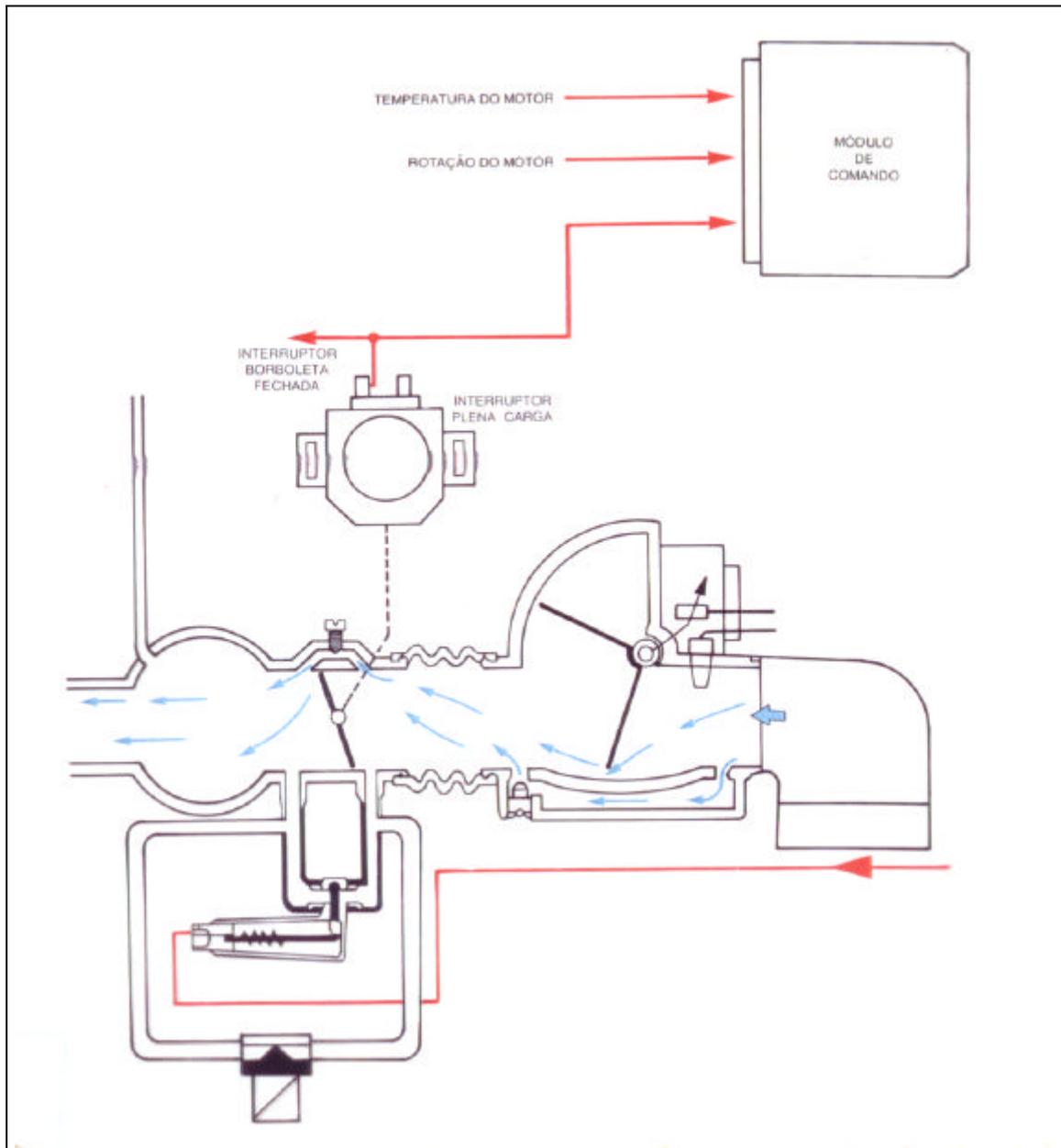


Figura 112 – Funcionamento do motor em “cut-off”

Proteção contra rotações excessivas

Quando a rotação do motor ultrapassar por mais de 10 segundos o valor de 6700rpm ou, momentaneamente, o valor “limite” de 6900rpm, o próprio motor encontra-se em condições críticas de funcionamento.

Quando a UCE reconhece a ultrapassagem da rotação crítica, inibe o funcionamento dos eletroinjetores. Quando a rotação voltar a um valor não crítico, é restabelecido o funcionamento dos mesmos.

Comando da eletrobomba de combustível

A eletrobomba de combustível é controlada pela UCE através de um relé. A bomba pára de funcionar se:

- o motor funcionar a menos de 50rpm aproximadamente;
- após um certo tempo (cerca de 5 segundos) com a ignição ligada sem que seja efetuada a partida do motor;
- se o interruptor inercial foi ativado.

Comando dos eletroinjetores

O comando dos eletroinjetores é do tipo seqüencial fasado. Porém, em fase de partida, os eletroinjetores são comandados, na primeira, vez em paralelo (full-group).

A fase do comando dos eletroinjetores é variável em função da rotação do motor e da pressão do ar aspirado, com o objetivo de melhorar o enchimento dos cilindros obtendo benefícios para os consumos, direção e para a poluição.

Controle da Marcha Lenta do Motor

O objetivo geral da estratégia é o de manter a rotação do motor em torno do valor memorizado (motor quente: 850rpm): a posição tomada pelo atuador de marcha lenta está em função das condições do motor.

Fase de Partida

Ao girar a chave de ignição, o atuador assume uma posição em função da temperatura do líquido de arrefecimento do motor e da tensão de bateria (posição de open-loop).

Fase de Regulação Térmica

O número de rotações é corrigido principalmente em função da temperatura do líquido de arrefecimento do motor. Com o motor quente, o controle da marcha lenta depende do sinal proveniente do [sensor de número de rotações](#) do motor. Ao inserimento de cargas elétricas (por exemplo, ar condicionado), a UCE controla a marcha lenta mantendo-a.

Fase de desaceleração

Quando o acelerador é solto fora da posição de marcha lenta, a UCE comanda a posição do atuador da marcha lenta do motor através de uma curva de vazão especial (curva de dash-pot), ou seja, diminui a velocidade de retorno do obturador para sua sede de oclusão, melhorando o efeito de frenagem do motor.

Glossário

A

- AAC** (Auxiliary Air Control) - Controle auxiliar de ar da admissão
- AAV** (Auxiliary Air Valve) - Válvula auxiliar de ar da admissão
- ACS** (Air Charge Sensor) Sensor de temperatura do ar
- ACT** (Air Charge temperature) Sensor de temperatura do ar admitido
- AFS** (Air Flow Sensor) - Sensor de fluxo de ar (o mesmo que LMN)
- ALDL** (Assembly Line Data Link) Conector de linha de dados (diagnósticos)
- AT** (Automatic Transmission) Câmbio automático
- AT** (Automatic Transmission) Transmissão automática

B

- BAR** Unidade de medida de pressão, aproximadamente 1bar = 14.5 psi (libras) = 100 kPa
- BARO** (Barometric Pressure) - Pressão Barométrica (atmosférica local)
- Blow-By** Gases e produtos da combustão, ar e combustível não-queimados, que passam pelos anéis do pistão e vão para o Carter. Geralmente são recirculados ("respiro do Carter".)
- By-Pass** Desvio, atalho, por ex., a passagem de ar controlada para ajuste de marcha-lenta

C

- CANP** (Canister Purge Solenoid) - Solenóide (válvula) do canister (para evacuar o **Canister**-permite a passagem dos gases acumulados no canister para o coletor de admissão).
- CDI** (Capacitor Discharge Ignition) - Ignição por descarga capacitiva
- CFI** (Central Fuel Injection) Injeção central de combustível, o mesmo que TBI
- CKP** (Crankshaft position) - Sensor de posição do virabrequim (Sensor de PMS)
- CMP** (Camshaft Position Sensor) Sensor do comando de válvulas
- CPU** (Central Processing Unit) Unidade central de processamento
- CTS** (Coolant Temperature Sensor) Sensor de temperatura do motor
- CUT-OFF** Corte de combustível durante freio motor

D

- DASH POT** Amortecedor de fechamento da borboleta
- DIS** (Digital Idling Stabiliser) - Estabilizador digital de marcha-lenta
- DOHC** (Double Overhead Camshaft) - Duplo comando de válvulas no cabeçote

E

- ECM** (Electronic Control Module/ Engine Control Module) Modulo eletrônico de controle do motor
- ECT** (Engine Coolant Temperature) Sensor de temperatura do fluido refrigerante do motor
- ECU** (Electronic Control Unit) Unidade de controle eletrônico
- EEC** (Evaporative Emission Control) - Controle das emissões evaporativas
- EEC-IV / V** (Electronic Engine Control) - Controle eletrônico do motor - versão IV ou V (FORD)
- EEPROM** (Electrically Erasable programable Read Only Memory) Memória programavel e eletricamente apagavel (Não apaga quando a bateria é desligada)
- EFI** (Electronic Fuel Injection) injeção eletrônica de combustível
- EGO** (Exhaust Gas Oxygen) Oxigênio do gás de exaustão (escapamento) - Sonda Lambda
- EGR** (Exaut Gas Recirculation) Recirculação do gás de exaustão (escapamento)

EICV (Electronic Idle Control Valve) - Válvula eletrônica de controle da marcha-lenta
EPROM (Electrically Programmable Read Only Memory) Memória programada eletricamente usada unicamente para leitura
EZK Módulo de controle de ignição (avanço) BOSCH

H

HALL Circuito integrado sensível a campo magnético. Utilizado para gerar pulsos no distribuidor e sensor de velocidade
HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen) Sonda lambda aquecida
HEI (High Energy Ignition) - Módulo de potência de ignição (MULTEC 700 - ROCHESTER)

I

IAC (Idle Air Control) - Controle do ar de marcha lenta
IAT (Intake Air Temperature) - Temperatura do ar de admissão (Sensor)

K

KAM (Keep Alive Memory) - Memória de defeitos passados (FIC)
KNOCK Detonação, batida
KOEO Memória de defeitos atuais no teste estático (FIC)
KOER Memória de defeitos atuais no teste dinâmico (FIC)

L

Lambda (λ) (Letra grega) Relação ar/combustível comparando oxigênio. Relação estequiométrica ideal $\lambda = 1$
LED (light Emitting Diode) Diodo semiconductor emissor de luz
LMM (Luft) Medidor de fluxo de ar

M

MAF (Mass Air Flow) - Sensor de massa de ar
MAP (Manifold Absolute Pressure) Sensor da pressão absoluta no coletor de admissão
MENCAL Memória de Calibração (MULTEC 700 - ROCHESTER)
MPFI/MPI (Multi-point Fuel Injection / Multi-Point Injection) Injeção multiponto
MT (Manual Transmission) Transmissão manual
Multipoint Injeção em que existe uma (ou mais) válvula injetora para cada cilindro

N

NO Óxido nítrico
NO₂ Dióxido nitroso
NTC (Negative temperature Coefficient) Resistor com coeficiente negativo de temperatura, utilizado em sensores de temperatura

O

OBD II (On Board Diagnostic 2) - Diagnóstico de defeitos no veículo, versão 2
OHC (Overhead camshaft) - Comando de válvulas no cabeçote
Ohm (Ω) Unidade de medida de resistência elétrica

P

PATS (Passive Anti-theft Alarm System) Imobilizador (FORD)

PCV (Positive Crankcase Ventilation) - Ventilação positiva do cárter (Blow-by)
PMS Ponto Morto Superior
PSPS (Power Steering Pressure Switch) - Interruptor de pressão da direção hidráulica
PTC (Positive Temperature Coefficient) - Coeficiente positivo de temperatura

R

RAM (Random Access Memory) Memória de leitura escrita, nesse tipo pode-se gravar códigos de defeitos ou programas. As informações são apagadas quando desligado a fonte(bateria)
RASTHER Equipamento (SCANNER) da TECNOMOTOR para análise de injeção eletrônica
ROM (Read Only Memory) Memória permanente somente para leitura

S

SCANNER ("Explorador") Utilizado para equipamentos que se comunicam com o computador da injeção eletrônica
SES Lâmpada de diagnóstico ou de manutenção
Single Point Injeção em um único ponto
SPFI (single Point Fuel Injection) - Injeção de combustível em um único ponto
SPI (Single Point Injection) Injeção em um único ponto (FIAT)
SPOUT (Spark Out) - Sinal de saída de ignição (injeção FIC)
STO (Self Test Output) - Saída para autoteste (auto diagnóstico)

T

TBI (Throttle Body Injection) Injeção no corpo da borboleta
TCCS (Toyota Computer Control System) - Sistema Toyota de controle computadorizado
TDC (Top Dead Centre) Ponto morto superior (PMS)
TFI (Thich Film Itegration) Componente com "Integração em filme espesso". No sistema FIC é o nome dado ao módulo de potência de ignição
TPS (Throttle Position Sensor ou Switch) Sensor ou interruptor de posição da borboleta
TSZ Módulo de potência de ignição BOSCH

U

UTA Unidade de Trasmissão Automática

V

VAF (Volume Air Flow sensor) - Sensor do volume do fluxo de ar
VSS (Vehicle Speed Sensor) Sensor de velocidade do veículo

W

WOT (Wide Open Throttle) Borboleta de aceleração totalmente aberta

Bibliografia da Parte II

CDTM (Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Mecânica); *Manual Técnico Mecânica 2000 – Santana Mi*; Belo Horizonte, MG, 2000.
CDTM; *Manual Técnico Mecânica 2000 – Fiesta 1000*; Belo Horizonte, MG, 2000.
CDTM; *Manual Técnico Mecânica 2000 – Escort 16V*; Belo Horizonte, MG, 2000.
CDTM; *Manual Técnico Mecânica 2000 – Palio 1000*; Belo Horizonte, MG, 2000.
CDTM; *Manual Técnico Mecânica 2000 – Corsa 1000*; Belo Horizonte, MG, 2000.
CDTM; *Manual Técnico Mecânica 2000 – Gol 1000*; Belo Horizonte, MG, 2000.
CDTM; *Manual Técnico Mecânica 2000 – Tempra 16V*; Belo Horizonte, MG, 2000.
FIAT – MOTORSHOW; *Nova Enciclopédia do Automóvel*; Editora Três, São Paulo, 2000.
FIAT; *Manual de Reparações – FIAT PALIO*.
Oficina Brasil - Periódico
Notícias da Oficina - Periódico

Links

<http://www.oficinabrasil.com.br>

http://www.oficinabrasil.com.br/edicoes/Jun2000/dicaie_jun.htm

<http://www.tecnomotor.com.br>

<http://www.wlkswagen.com.br/noticiasdaoficina>

<http://www.cyberdoc.com.br/eclipse/index.html>

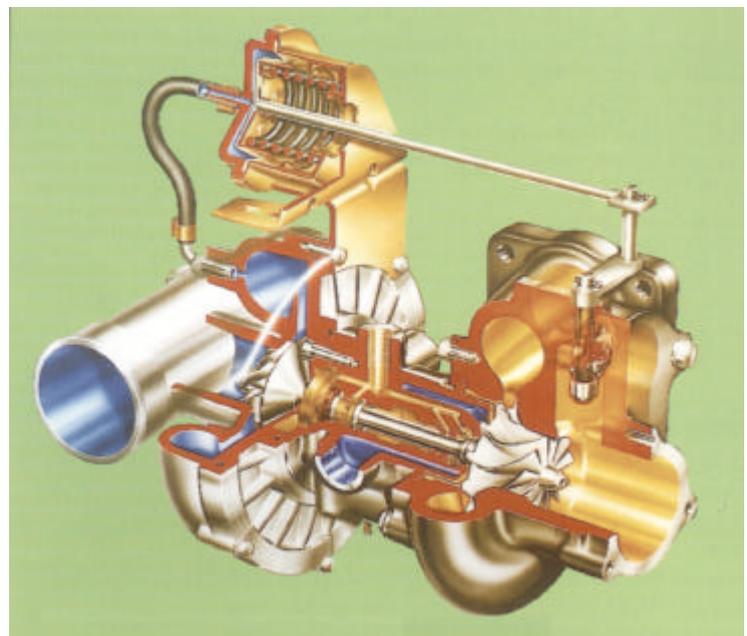
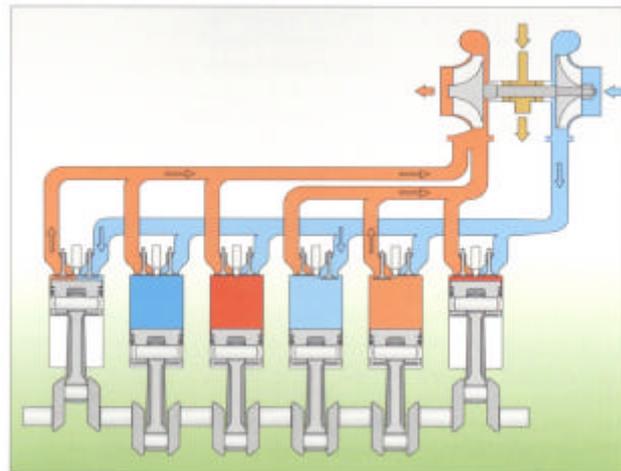
<http://autoesporte.globo.com/edic/ed414/servico.htm>

<http://www.ipuc.pucminas.br/labep/mentor/tps/injecao1/menuprincipal.html>

<http://www.tudoparacarro.com.br/tudopcarro/Dicionario/Dicionario.asp>



PARTE III - ANÁLISE DO SISTEMA DE TURBOALIMENTAÇÃO



Autor: CHARLAN RICARDO ZACHOW

Orientador: Prof. Luiz Carlos Martinelli Júnior

Introdução

O turboalimentador é uma máquina térmica capaz de aumentar a potência e o torque de um motor de combustão interna, devido a sobrealimentação de ar que é pressurizada no coletor de admissão desse. Para ocorrer a sobrealimentação, o turboalimentador aproveita a energia cinética dos gases de combustão que saem do motor e vão para a atmosfera.

Não detectamos bibliografia sobre turboalimentação escrita em português no Brasil, devido a isso, vimos a necessidade de realizar um trabalho de pesquisa analisando vários conceitos sobre o assunto. Este trabalho é de fácil compreensão, porém o leitor deve conhecer os princípios básicos do motor de combustão interna, Ciclo Otto.

Na elaboração deste trabalho de pesquisa, visamos construir um material didático contendo todas as informações úteis sobre um sistema de turboalimentação, entre essas, a sua história, o seu funcionamento, cálculos para sua seleção, a lubrificação, intercoolers, controladores de pressão, outros componentes de um sistema de turboalimentação e a legislação brasileira em relação ao uso do turbo.

Para auxiliar no entendimento do assunto, serão mostradas diversas figuras no decorrer do trabalho. Dentre as figuras apresentadas, em algumas há palavras escritas em inglês. Para a melhor compreensão do assunto coloca-se em Anexo uma tradução inglês-português de todas as palavras escritas em inglês contidas neste trabalho.

História do Turboalimentador

A história do turboalimentador é quase tão velha quanto aos motores de combustão interna. De 1885 a 1896, Gottlieb Daimler e Rudolf Diesel investigaram o aumento da potência do motor e a redução do consumo através da pré-compressão do ar de combustão, ou seja, eles comprimiam o ar antes que esse entrasse nas câmaras de combustão.

Em 1952, o suíço Alfred Büchi foi o primeiro pesquisador a ter grande êxito com um sistema de turboalimentação, alcançando um aumento de potência maior que 40% nos motores da época. Daí por diante, aumentou-se cada vez mais os estudos na área e a utilização de turboalimentadores em motores automotivos comerciais.

Oldsmobile Jetfire (Figura 113) produzido entre 1962 a 1963 e o Chevrolet Corvair Monza (Figura 114) produzido entre 1962 a 1964 foram os primeiros carros de passageiros turboalimentados comercializados no mercado dos EUA. Apesar da grande técnica e grande potência dos motores destes automóveis, a confiabilidade era baixa, causando o desaparecimento destes modelos no mercado americano.



Figura 113: Oldsmobile Jetfire, motor V8 de 3.528cc turboalimentado, com 215 hp de potência.



Figura 114: Chevrolet Corvair Monza, motor 6 cil. de 2.380 cc turboalimentado de 50 hp de potência

Nos anos setenta, com a utilização dos turboalimentadores em motores de competição, principalmente na Fórmula 1, a palavra “Turbo” ficou bastante conhecida e comentada pelas pessoas. Na mesma época, grande parte dos fabricantes de automóveis lançaram modelos top de linha equipados com turboalimentador, porém esse fenômeno desapareceu, pois embora os carros turbinados tivessem maior potência, eles consumiam muito devido a isto.

Os motores turboalimentados tiveram sua fixação no mercado nos anos 80, devido a utilização em motores a diesel para caminhões, onde mostraram-se mais eficientes, aumentando a potência, diminuindo o consumo e a emissão de gases poluentes. A partir daí, aumentou-se cada vez mais a utilização do turboalimentador em motores a diesel, tanto que hoje no ano 2000, praticamente 100% dos caminhões comercializados no Brasil são turbinados de fábrica.

O Turboalimentador

Turboalimentador é uma máquina simples, nada além de um compressor que é acionado pela energia dos gases de combustão que saem do motor. De toda a energia

fornecida pelo combustível no processo de combustão de um motor, aproximadamente 1/3 (um terço) é transferido para o sistema de refrigeração, 1/3 (um terço) é utilizado como energia mecânica acionando o virabrequim e 1/3 (um terço) é lançado pelo escapamento ao ambiente como forma de calor. É este último 1/3 da energia que podemos utilizar para acionar a turbina, e sobrealimentar o motor através de um compressor, para aumentar a potência deste. A Figura 115 e a Figura 116 mostram, em corte, um turboalimentador e a Figura 117 mostra um motor turboalimentado de um carro de competição. Neste capítulo analisaremos as formas de aumentar a potência de um motor, o funcionamento de um turboalimentador, o consumo, a durabilidade e a manutenção de um motor turboalimentado.

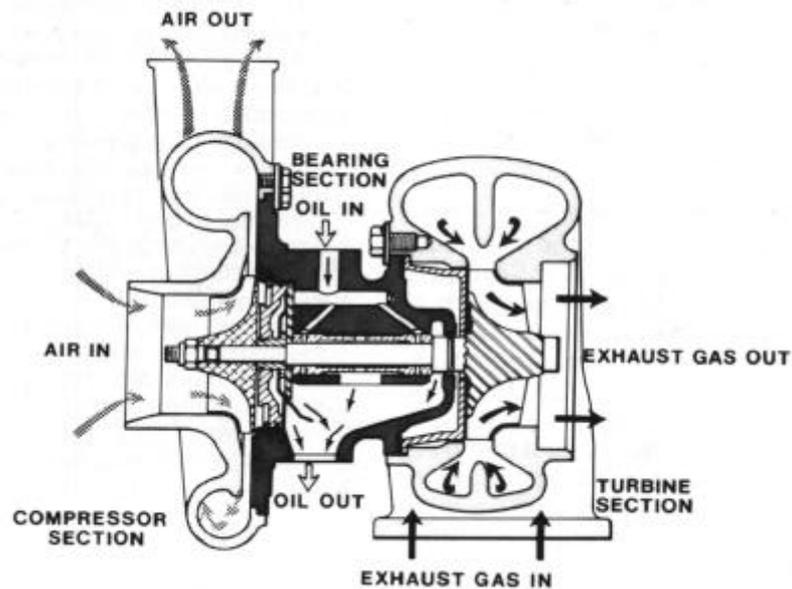


Figura 115: Turboalimentador em corte

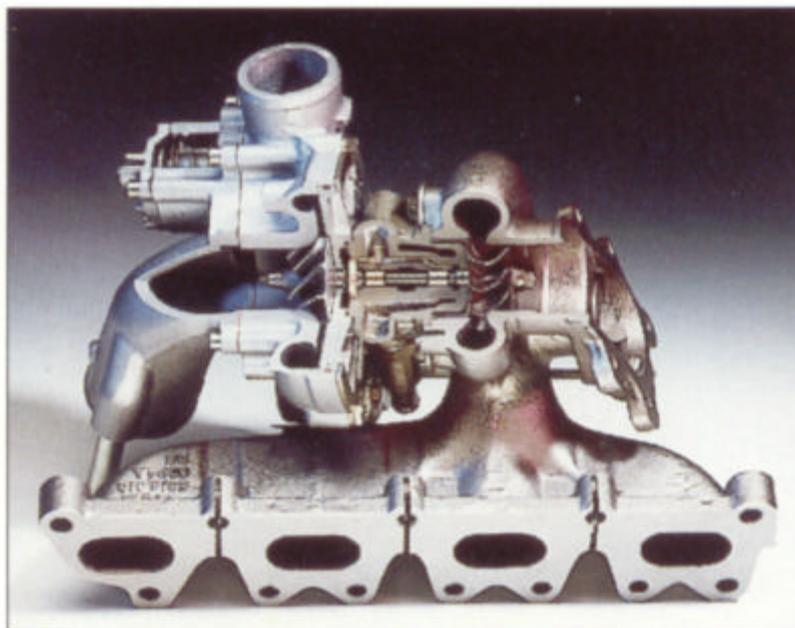


Figura 116: Turboalimentador em corte



Figura 117: Motor turboalimentado

Aumentando a potência do motor

Para um motor de combustão interna, a equação abaixo mostra as variáveis que determinam sua potência:

$$P = \frac{h_m h_t h_v r H_d N}{2 I S}$$

onde: h_m – Eficiência mecânica;

h_t – Eficiência térmica;

- h_v – Eficiência volumétrica;
- r - Densidade do ar no coletor de admissão;
- H – Poder calorífico do combustível;
- V_d – Deslocamento (cilindrada);
- N – Número de rotações por unidade de tempo;
- I - Razão ar-combustível relativa;
- S – Valor estequiométrico.

A razão de analisarmos essa fórmula é para verificarmos onde realmente podemos alterar o motor para obtermos uma maior potência. Vamos analisar algumas variáveis e decidirmos se é viável alterá-la ou não:

- A melhoria da eficiência mecânica η_m (redução de atrito) não aumentaria muito a potência do motor;
- Nos motores de hoje, a eficiência volumétrica η_v já é das melhores (em torno de 80 a 90%), sendo assim, não conseguiríamos um grande aumento da potência com o melhoramento desta;
- O poder calorífico do combustível (H), uma vez que nos interessa a análise de um modelo convencional, não pode ser alterado, pois compramos o combustível nos postos, e esse tem seu valor fixo determinado por lei;
- A cilindrada (V_d) pode ser alterada aumentando o diâmetro dos cilindros ou ainda, aumentando o curso do pistão, porém não é essa a nossa intenção, e sim, aumentar a potência do motor sem aumentar a cilindrada deste;
- O número de rotações por unidade de tempo (N) é limitado, pois um motor projetado para trabalhar a 6000 RPM (rotação máxima), e passar a trabalhar com 7500 RPM, por exemplo, aumentará drasticamente as cargas inerciais do motor, ampliando em grande proporção as chances de quebra deste. Com isso, concluímos que o aumento de N não é viável para aumentarmos a potência de um motor;
- Podemos ainda aumentar a densidade de ar no coletor de admissão (ρ) que teremos um aumento da potência do motor. Este último, ao nosso ver, é a opção mais viável, pois consegue-se grandes aumentos da potência para um mesmo motor, apenas utilizando um equipamento que faça essa função de aumentar a densidade do ar. Dentre os equipamentos existentes hoje, como compressores centrífugos, compressores de parafusos (*blowers*), compressores de pistões, etc, estudaremos os turboalimentadores, pois compreendemos que esse é o mais viável levando em conta seu custo/benefício.

Funcionamento do Turboalimentador

O turboalimentador, também chamado de turbomáquina, é uma máquina térmica que tem a função de pressurizar o ar no coletor de admissão. “As turbomáquinas são máquinas rotodinâmicas nas quais o fluido de trabalho se desloca continuamente em um sistema rotativo de pás (rotor), fornecendo ou absorvendo a energia, deste rotor, conforme seja turbina ou compressor respectivamente.” (FLORES, 198-, p. 108).

O turboalimentador é composto por dois rotores e um eixo que os liga. Um dos rotores é a turbina, que tem a função de aproveitar a energia cinética dos gases de combustão que saem do motor e transformá-la em energia mecânica. O segundo rotor é o compressor que utiliza a energia mecânica cedida pela turbina para pressurizar o ar externo vindo do filtro de ar. Ao pressurizar o ar, aumenta-se a sua densidade (as moléculas de ar ficam mais “juntas”), com isso aumenta-se o número de moléculas para um mesmo volume. Para ocorrer uma combustão ideal, deve-se aumentar a quantidade de combustível na mesma proporção que é aumentada a densidade do ar. Então, aumentando a quantidade da mistura (ar + combustível) nas câmaras de combustão, aumenta-se a potência do motor.

O turbo se baseia num eixo com dois rotores. Um deles (a turbina) é impulsionada pelos gases de escapamento, fazendo girar o outro rotor (o compressor), que admite o ar externo e o força para dentro dos cilindros. O motor ganha então condições de produzir potência bem maior, na proporção das dimensões da turbina e da pressão utilizada. (SAMAHÁ, 2000, p. 01)

Com a introdução do turboalimentador, um aumento de potência pode ser obtido, com a mesma cilindrada e rotação, através do aumento da quantidade de mistura. A energia dos gases de escape, que seriam perdidos para a atmosfera, é utilizada para comprimir o ar a ser enviado ao motor, possibilitando o aumento da mistura. (TURBOMAC, 2000, p. 01).

A Figura 118 ilustra de forma simplificada o funcionamento de um turboalimentador em um motor de combustão interna, e a Figura 119 mostra de forma esquemática um turboalimentador em funcionamento.

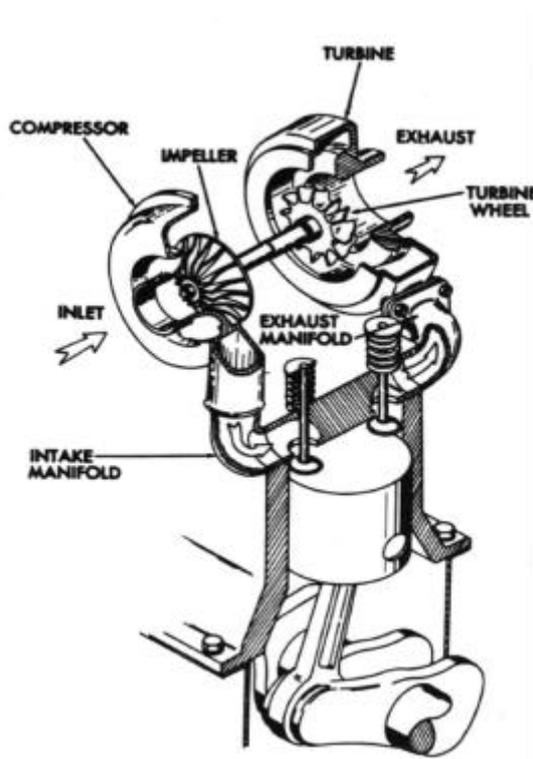


Figura 118: Funcionamento de um turboalimentador

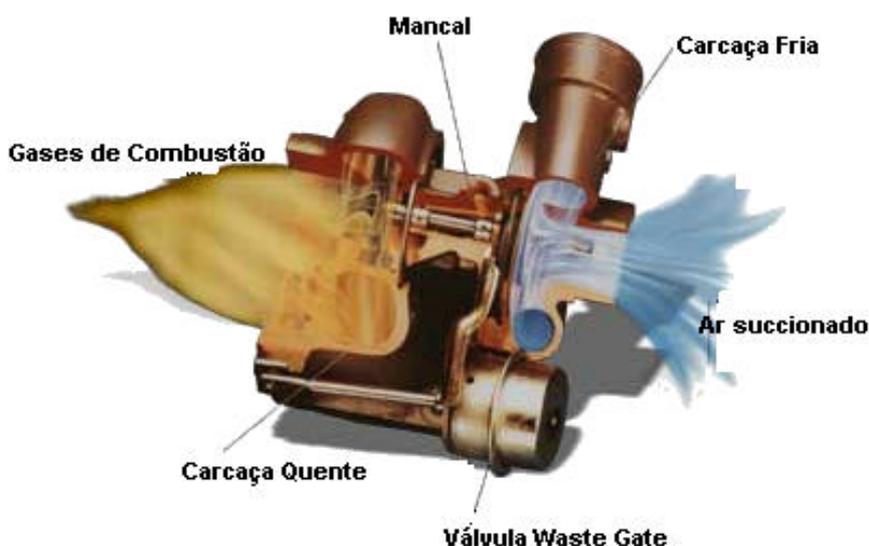


Figura 119: Turboalimentador em funcionamento

Consumo de um motor turboalimentado

Como já sabemos, um turboalimentador tem a finalidade de aumentar a potência de um motor, porém em relação ao consumo, há uma grande discussão sobre os motores turboalimentados. Para avaliarmos o consumo de um motor turboalimentado, devemos analisar duas constantes: a potência e a cilindrada.

Comparando dois motores, um aspirado e outro turboalimentado e ambos tiverem a mesma potência, mas cilindradas diferentes (o motor turbinado terá cilindrada menor), o motor turboalimentado terá um consumo de 5 a 10% menor. Por exemplo se compararmos um automóvel Gol GLS 2.0 MI, com motor de 1984 cm³, potência final de 111CV, a 5250RPM, consumo de 12,49km/l a uma velocidade de 100km/h, conforme a Revista Quatro Rodas de 12/1997 e um automóvel Gol 1.0 16V Turbo, com motor de 999 cm³ turboalimentado, aumento de pressão de 1,4kgf/cm², potência final de 112CV, a 5500RPM, consumo de 13,36km/l a uma velocidade de 100km/h, conforme Revista Quatro Rodas de 06/2000, veremos que a potência dos dois motores é praticamente a mesma (diferença menor que 1%), porém o consumo do motor turboalimentado é menor na ordem de 6% em relação ao motor aspirado.

Porém se compararmos dois motores de mesma cilindrada, um turboalimentado e outro aspirado, veremos que o motor turbinado terá um consumo maior (em torno de 20 a 30%), mas em contrapartida, terá um aumento de potência de 30 a 50% (conforme a pressão utilizada). Então ao turbinar o motor de um automóvel, com certeza esse irá consumir mais combustível, porém o aumento de potência que esse motor terá condiz com o maior gasto no abastecimento.

Aumentando o torque do motor

O turboalimentador além de aumentar a potência de um motor de combustão interna, tem a capacidade de ampliar consideravelmente o torque desse. O aumento do torque é notado principalmente nas acelerações de médias e altas rotações, com isso, o

automóvel “turbinado” atinge altas velocidades em um menor intervalo de tempo, comparando com um “aspirado”.

REGRA: Turbos fazem torque, e torque faz diversão. (BELL, 1997, pág. 8).

A diferença de torque de um motor aspirado e um motor turboalimentado com 8 psi (0,54 kgf/cm²) de pressão de sobrealimentação é mostrada na Figura 120.

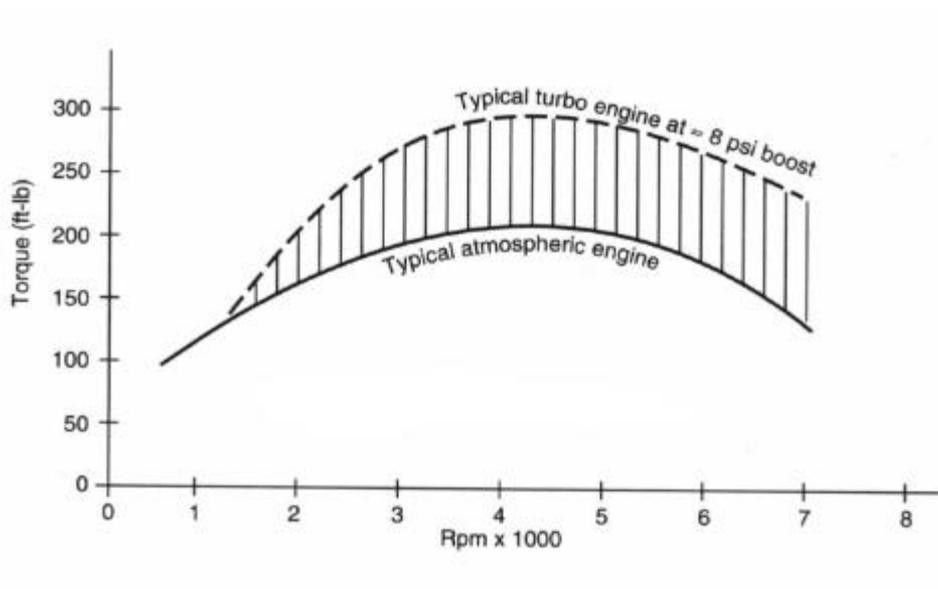


Figura 120: Diferença de torque de um motor aspirado e um motor turboalimentado

Durabilidade e manutenção de um motor turboalimentado

Para motores turboalimentados originais de fábrica, a durabilidade é praticamente a mesma de um aspirado, pois são feitos estudos e os componentes internos (como por exemplo bielas, pistões, válvulas, coletores, junta de cabeçote, etc) são otimizados para que façam quilometragens semelhantes aos motores aspirados.

Porém em motores turboalimentados adaptados, a durabilidade será menor devido ao aumento das cargas internas. É difícil afirmar qual será a vida útil de um motor turbinado, mas pode-se dizer que instalando um turboalimentador e seus componentes adequados para a situação, utilizando pressões moderadas e não exigindo ao extremo do sistema, pode-se chegar a uma vida útil em torno de 80 a 90 % do motor original.

A manutenção dos motores turbinados é a mesma dos motores aspirados, pois o turboalimentador não exige manutenção extra, apenas alguns cuidados simples como por exemplo: Ao ligar ou desligar o motor, deixe-o durante 30 segundos em marcha lenta.

Como Selecionar um Turboalimentador

O tamanho do turbo selecionado para uma determinada situação, influenciará diretamente no sucesso do sistema de turboalimentação. Não podemos dizer que há

somente um tamanho de turbo para um determinado motor, pelo contrário, o tamanho do turbo pode variar conforme o objetivo do automóvel. Dentre os diversos objetivos podemos citar: carro de rua, carro de alto desempenho, carro de competição, etc. De acordo com cada objetivo, as variáveis de potência, atraso (*turbo lag*) e início de sobrealimentação irão mudar de carro para carro, conforme o objetivo e por consequência, conforme o tamanho do turbo. Com isso, podemos dizer que carros de competição requerem turbos grandes, carros de alto desempenho requerem turbos médios e carros de rua requerem turbos pequenos.

De início, deve-se saber o que significam as variáveis Início de sobrealimentação e Atraso (*turbo lag*):

- Início de Sobrealimentação (*boost threshold*) – É a mais baixa RPM do motor a qual o turbo começa a agir. Abaixo dessa RPM, os gases de combustão não tem energia suficiente para acionar a turbina, e por consequência, o compressor não sobrealimenta o motor, então esse funciona com se fosse aspirado. Para turbos grandes, o início de sobrealimentação é maior (cerca de 4000 RPM), e para turbos pequenos, o início de sobrealimentação é menor (cerca de 2000 RPM).
- Atraso (*turbo lag*) – é o tempo da resposta do motor quando há uma aceleração e esse encontra-se acima do Início de Sobrealimentação. Por exemplo, quando se está com o motor a 4000 RPM (acima do início de sobrealimentação) e acelera ao máximo, o turbo leva alguns instantes até chegar a pressão desejada, só então notasse a resposta da aceleração. Esse fenômeno é chamado de atraso e é devido a inércia da turbina e do compressor. Com isso podemos dizer que turbos grandes terão um maior atraso e turbos pequenos terão um menor atraso.

Como selecionar o compressor

Para selecionarmos o compressor ideal para cada tipo de utilização, devemos primeiramente saber alguns conceitos que envolvem essa seleção: Razão de pressão, Eficiência do compressor, Razão de densidade, Vazão de ar do motor.

Razão de Pressão

É a pressão absoluta total produzida pelo turbo dividido pela pressão atmosférica. A pressão absoluta total produzida pelo turbo é a pressão atmosférica somada com o aumento de pressão. (Pressão atmosférica = 1 kgf/cm²).

$$\text{Então: Razão de Pressão} = \frac{\text{Pressão atmosférica} + \text{Aumento de pressão}}{\text{Pressão atmosférica}} \quad (1)$$

Exemplos:

a) Razão de Pressão para um aumento de pressão de 0,6 kgf/cm².

$$\text{Razão de Pressão} = \frac{1 + 0,6}{1} = 1,6$$

b) Razão de Pressão para um aumento de pressão de 1,5 kgf/cm².

$$\text{Razão de Pressão} = \frac{1+1,5}{1} = 2,5$$

Eficiência do compressor (h_c)

É a capacidade do compressor de comprimir o ar aquecendo-o o mínimo possível. Podemos dizer que um compressor de eficiência alta aquece menos o ar, e compressor de eficiência baixa aquece mais o ar. Em geral, a eficiência do compressor deve ser pelo menos 60%, mas isso varia de um para outro.

Após conhecermos a eficiência do compressor, podemos calcular a temperatura do ar que sai do compressor através das seguintes fórmulas:

$$T_{\text{elev comp}} = \frac{\left[(\text{Razão de Pressão})^{0,28} \cdot (T_{\text{amb}} + 273^\circ \text{C}) \right] - (T_{\text{amb}} + 273^\circ \text{C})}{h_c} \quad (2)$$

$$T_{\text{saída comp}} = T_{\text{elev comp}} + T_{\text{amb}} \quad (3)$$

Razão de densidade

A potência produzida depende do número de moléculas de ar que entram em cada centímetro cúbico (cm^3) do motor. As moléculas de ar quando pressurizadas pelo compressor ficam mais “unidas”, aumentando assim a densidade do ar, porém esse aumento não é proporcional a razão de pressão, pois a compressão do ar faz sua temperatura subir, e as moléculas de ar se expandem. Então, podemos dizer que a razão de densidade sempre será menor que a razão de pressão. Para calcularmos a vazão de ar do compressor e a potência estimada de um motor turboalimentado, devemos levar em consideração a razão da densidade. A razão da densidade é expressa pela seguinte fórmula:

$$\text{Razão de Densidade} = \frac{(T_{\text{amb}} + 273)}{(T_{\text{saída comp.}} + 273)} \times \text{Razão de Pressão} \quad (4)$$

O gráfico abaixo mostra a razão de densidade e a razão de pressão, considerando a eficiência do compressor.

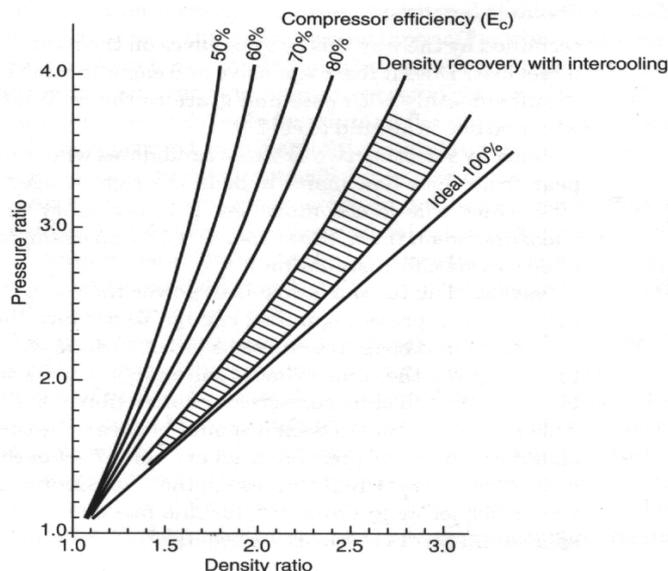


Figura 121: Razão de pressão e Razão de densidade, considerando a eficiência do compressor

Vazão de ar do motor

É a vazão de ar em dm^3/min que passa pelo motor aspirado. Calculamos através da seguinte fórmula:

$$\text{Vazão de ar do motor} = \frac{\text{Cil} \cdot \text{RPM} \cdot h_v}{2} \quad (5)$$

onde:

Cil – Cilindrada do motor em dm^3 ;

RPM – Rotação do motor (para vazão máxima, usamos a RPM máx. do motor);

h_v – Eficiência volumétrica do motor;

Como os motores analisados são quatro tempos, a cada duas voltas, o motor succiona ar apenas em uma, por isso a vazão de ar é dividida por 2 (dois).

OBS.: Para utilizarmos os mapas dos compressores, devemos ter as vazões de ar expressas em lbs/min , devido a isso, devemos utilizar as seguintes constantes:

- Densidade do ar seco à 760mmHg, a 20°C: $\rho=1,2045\text{kg}/\text{m}^3$. (MARTINELLI, 1998, p.19);
- 1 kg = 2,205lb. (GIECK, 1996, p.A4).

Após conhecermos os quatro conceitos básicos e suas fórmulas, podemos selecionar o compressor ideal para cada tipo de motor, conforme suas utilizações.

Calculando e selecionando um compressor

Como exemplo, iremos calcular e selecionar o compressor ideal para um motor de 999 cm³, 16V. Dados:

- Cilindrada: 0,999 dm³
- RPM máx.: 5500
- h_v : 93%
- Aumento de pressão: 1,48 kgf/cm²
- Temperatura ambiente: 20°C
- Potência do motor aspirado: 60 cv
- Eficiência do compressor: $h_c = 72,5\%$ (retirado do mapa do compressor)

1) Calculando a razão de pressão, da Eq. (1):

$$\text{Razão de Pressão} = \frac{1+1,48}{1} = 2,48$$

2) Calculando a temperatura de elevação no compressor, onde: $h_c = 72,5\%$.

$$T_{\text{elev comp}} = \frac{[(\text{Razão de Pressão})^{0,28} \cdot (T_{\text{amb}} + 273)] - (T_{\text{amb}} + 273)}{h_c}$$

$$T_{\text{elev comp}} = \frac{[(2,48)^{0,28} \cdot (20 + 273)] - (20 + 273)}{0,725}$$

$$T_{\text{elev comp}} = 117,0^\circ \text{C}$$

Após calcularmos a temperatura de elevação no compressor, calcularemos a temperatura do ar na saída do compressor, utilizando a fórmula (3).

$$T_{\text{saída comp}} = T_{\text{elev comp}} + T_{\text{amb}}$$

$$T_{\text{saída comp}} = 117,0 + 20 = 137,0^\circ \text{C}$$

3) Calculando a razão de densidade:

$$\text{Razão de Densidade} = \frac{(T_{\text{amb}} + 273)}{(T_{\text{saída comp.}} + 273)} \times \text{Razão de Pressão}$$

$$\text{Razão de Densidade} = \frac{(20 + 273)}{(137,0 + 273)} \times 2,48$$

$$\text{Razão de Densidade} = 0,714 \times 2,48 = 1,772$$

4) Calculando a vazão de ar do motor:

$$\text{Vazão de ar do motor} = \frac{\text{Cil} \cdot \text{RPM} \cdot h_v}{2}$$

$$\text{Vazão de ar do motor} = \frac{0,999(\text{dm}^3) \cdot 5500 \cdot 0,93}{2}$$

$$\text{Vazão de ar do motor} = 2554,9 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$$

5) Transformando dm^3/min em m^3/min , basta dividir por 1000.

$$\text{Vazão de ar do motor} = 2554,9 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3} = 2,5549 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

6) Transformando a vazão do ar do motor (m^3/min) em vazão mássica do ar (kg/min), onde $\rho = 1,2045 \text{ kg}/\text{m}^3$:

$$\text{Vazão mássica de ar} = \text{Vazão de ar do motor} \times \rho$$

(6)

$$\text{Vazão mássica de ar} = 2,5549 \text{ m}^3/\text{min} \times 1,2045 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Vazão mássica de ar} = 3,077 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

7) Transformando kg/min em lbs/min , onde $1 \text{ kg} = 2,205 \text{ lbs}$:

$$\text{Vazão mássica de ar} = 3,077 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times \frac{2,205 \text{ lbs}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{Vazão mássica de ar} = 6,784 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$$

8) Selecionando o compressor

Antes de selecionarmos o compressor, devemos multiplicar a vazão mássica de ar pela razão de densidade, com isso teremos a vazão de ar que o compressor deverá produzir. Então:

$$\text{Vazão de ar do compressor} = \text{Vazão mássica de ar} \times \text{Razão de Densidade}$$

(7)

$$\text{Vazão de ar do compressor} = 6,784 \frac{\text{lbs}}{\text{min}} \times 1,772$$

$$\text{Vazão de ar do compressor} = 12,02 \frac{\text{lbs}}{\text{min}}$$

Como já conhecemos a razão de pressão (2,48) e a vazão de ar do compressor (12,02 lbs/min), estamos prontos para conferir os mapas dos compressores e decidirmos qual é a melhor opção, analisando sempre se o rendimento é superior a 60%. Caso não seja, devemos escolher outro compressor.

A Figura 122 mostra o mapa do compressor GARRET GT14 C101 D (41mm) 50Trim 0,33 A/R

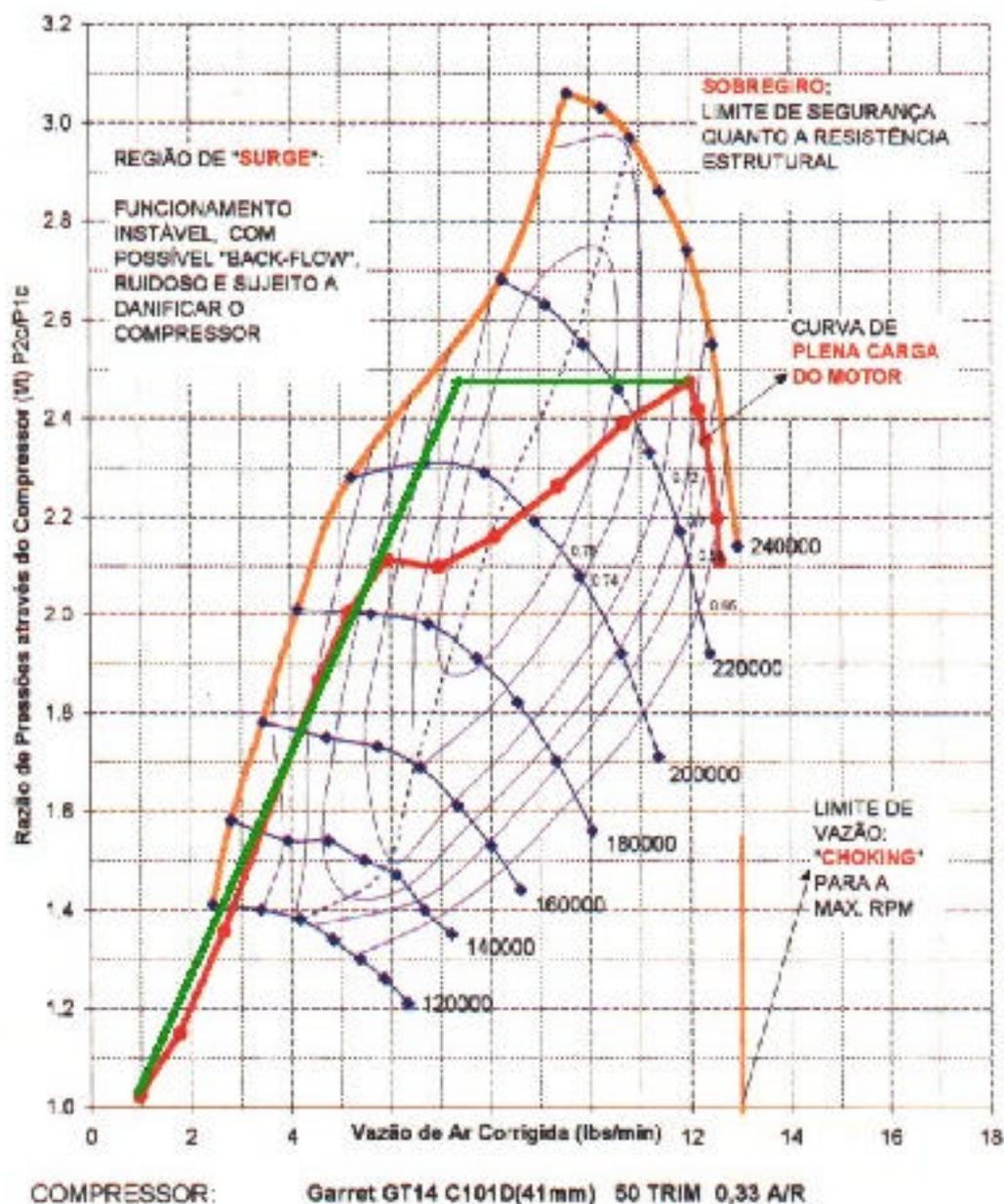


Figura 122: Mapa do compressor Garret GT 14

Observação: a linha vermelha representa a curva de desempenho do compressor com um controlador de pressão eletrônico, o qual alcança a pressão máxima somente quando o motor atinge a rotação máxima, com isso não recebe grandes pressões de sobrealimentação a baixas e médias rotações, aumentando assim a vida útil do motor e outros componentes do automóvel. Porém na maioria das instalações a realidade é outra. O controlador de pressão mais utilizado é a válvula wastegate, e essa faz com que a pressão máxima de sobrealimentação seja atingida quando o motor estiver a 60% da rotação máxima (para um turboalimentador bem dimensionado). Assim sendo, o compressor trabalha a pressão máxima em 40% da rotação nominal do motor, quando esse estiver a carga máxima (acelerador todo pressionado). Para a melhor compreensão e análise do mapa do compressor, descreveremos a forma de traçar a linha no mapa quando o controlador de pressão for uma válvula wastegate. No exemplo deste capítulo, a vazão de ar do compressor é de 12,02 lbs/min, a 5500 RPM do motor e a

razão de pressão é 2,48. Se o controlador de pressão deste turbo for uma válvula wastegate, a razão de pressão máxima será atingida quando o motor estiver a 3300 RPM (60% de 5500 RPM) e a vazão de ar será de 7,2 lbs/min (60% de 12,02 lbs/min) nesta rotação. Analisando o mapa do compressor, devemos traçar uma linha entre 7,2 lbs/min e 12,02 lbs/min na direção da razão de pressão máxima. Essa linha deve estar dentro dos limites do compressor, caso contrário, devemos escolher outro compressor mais adequado para o motor. A linha verde representa a curva de desempenho do compressor com um controlador de pressão wastegate.

9) Estimando a potência do motor turboalimentado

Com o compressor já definido, podemos agora estimar a potência do motor turboalimentado, multiplicando a potência do motor aspirado pela razão da densidade.

$$P_{\text{motor turbo}} = \text{Potência motor aspirado} \times \text{Razão de densidade}$$

$$P_{\text{motor turbo}} = 60 \text{ cv} \times 1,772$$

$$P_{\text{motor turbo}} = 106 \text{ cv}$$

Observações:

- Para calcularmos a potência estimada desprezamos as perdas de carga do sistema, mas se levássemos em consideração, com certeza a potência seria menor;
- Para essa potência estimada não levamos em consideração o uso de intercooler, o qual será discutida mais a frente.

Como selecionar a turbina

Não há cálculos nem segredos para selecionarmos uma turbina. Precisamos ter em mente apenas alguns conhecimentos básicos para decidirmos o tamanho ideal da turbina para cada tipo de utilização. A turbina tem a função de acionar o compressor, então essa deve girar a altas velocidades para que o compressor produza uma vazão de ar suficiente para sobrealimentar o motor conforme necessário.

Comparando duas turbinas, uma pequena e uma grande, ambas trabalhando com a mesma vazão de gases de combustão, podemos afirmar que a turbina menor irá girar mais rápido, produzindo assim um menor Início de sobrealimentação, com isso o motor terá respostas mais rápidas e a rotações mais baixas (cerca de 2000 RPM).

Se a turbina for muito pequena para um determinado motor, ocorrerá um fenômeno em que a pressão atrás da turbina (entre o coletor de escape e a turbina) será muito grande, com isso, a turbina trabalhará a uma temperatura maior que a recomendada e a potência do motor a altas rotações será comprometida (abaixo do esperado). Por outro lado, se a turbina for muito grande para um determinado motor, os gases de combustão não terão força suficiente para acioná-la e o compressor não sobrealimentará o motor. Turbinas muito grandes também podem gerar um fenômeno em que a sobrealimentação ocorra somente perto da rotação limite (70 a 80% da RPM máxima), produzindo assim, um aumento muito grande de potência do motor em um pequeno espaço de tempo, deixando o carro com uma péssima dirigibilidade.

Relação A/R

A relação A/R é uma razão entre a Área da seção transversal da turbina (A), e a distância entre o centro do rotor e o centro da área da seção transversal (R). Para toda e qualquer turbina, $A_1/R_1 = A_2/R_2 = A_3/R_3 = A_4/R_4 = A_5/R_5 = A_6/R_6$, então podemos afirmar que a relação A/R para uma turbina é constante. A Figura 123 representa a definição da relação A/R de uma turbina.

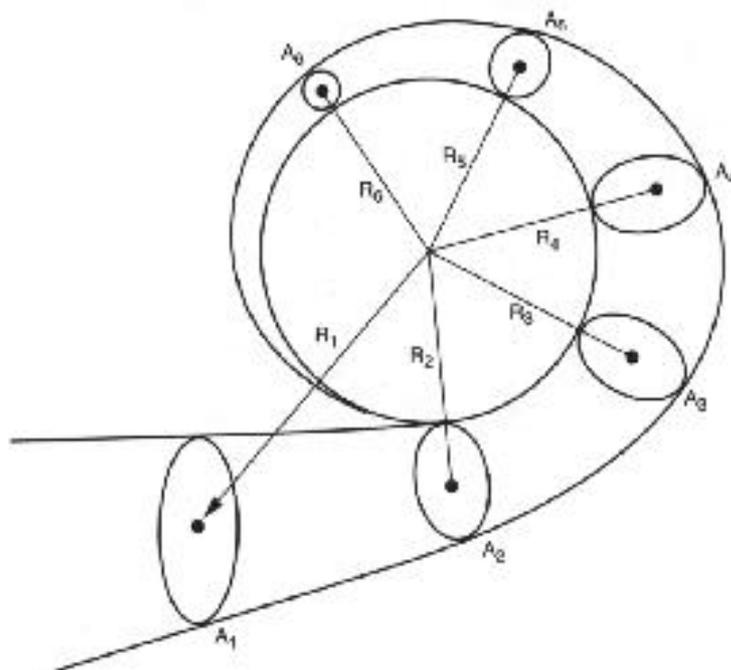


Figura 123: Definição da Relação A/R

A relação A/R está gravada na carcaça da turbina e varia de uma para outra, podendo ser de 0,3; 0,33; 0,48 até 1,2; 1,4. Analisando essa relação, podemos dizer que uma turbina de A/R pequeno, como por exemplo 0,33, irá girar a altas rotações (cerca de 240.000 RPM) e produzirá altas pressões de sobrealimentação, e uma turbina de A/R grande, como por exemplo 0,9, irá girar a rotações menores (cerca de 80.000 RPM) e produzirá pressões de sobrealimentação mais baixas.

Intercooler

O intercooler é um trocador de calor posicionado entre o compressor e o sistema de mistura de combustível. Como já sabemos, o ar quando é comprimido pelo compressor, tem sua temperatura elevada, devido a isso, utiliza-se o intercooler para reduzir a temperatura desse ar. A Figura 124 representa um sistema de turboalimentação com intercooler.

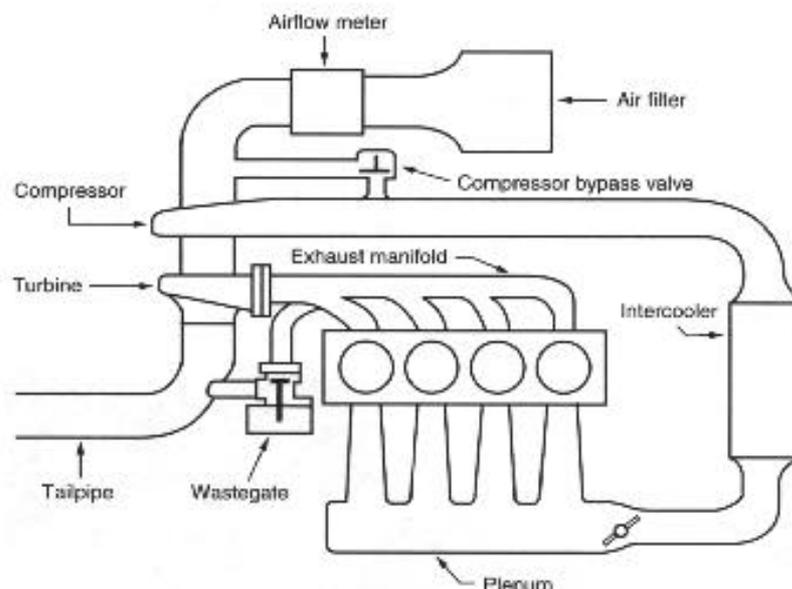


Figura 124: Sistema de turboalimentação com intercooler

Com a redução da temperatura do ar comprimido, teremos duas grandes vantagens a serem comentadas:

Diminuindo a temperatura do ar, aumenta-se a densidade deste, com isso o número de moléculas de ar para o mesmo volume será maior. Podemos concluir então, que um motor turbinado com intercooler admitirá um maior número de moléculas de ar, sendo assim, produzirá uma potência maior.

O ar comprimido pelo turbo eleva-se a uma temperatura considerável (entre 100°C a 150°C, dependendo da pressão), com isso, aumenta-se o risco de detonação (auto-ignição) do combustível das câmaras de combustão. Então, diminuindo a temperatura do ar comprimido com a utilização de um intercooler, diminui o risco de detonação do combustível.

Detonação: combustão espontânea da mistura ar/combustível, que eleva subitamente a pressão e a temperatura na câmara de combustão. Provoca um ruído metálico (“grilo”) que se assemelha ao de bolinha de gude dentro de um copo – no vocabulário comum, “batida de pino”. É causada em geral por tacha de compressão de compressão muito elevada, ponto de ignição muito avançado, vela incorreta ou combustível de baixa qualidade. Se persistir por algum tempo, a elevação de temperatura pode levar a uma trinca no cabeçote, um furo na cabeça do pistão, ou à fundição do cilindro. (CARTOXO, 2000, p. 02)

Pode-se dizer, que um motor turboalimentado com intercooler, terá mais potência e uma maior confiabilidade (menor risco de detonação). Porém se o intercooler for mal dimensionado para uma determinada vazão de ar em um sistema de turboalimentação, ele produzirá algumas desvantagens:

Intercooler maior que o necessário para uma determinada vazão de ar, produzirá um atraso muito grande, com isso, as respostas do motor não serão satisfatórias;

Intercooler muito pequeno para uma determinada vazão de ar, produzirá uma perda de carga muito grande, diminuindo assim, a pressão de sobrealimentação (por exemplo, 1,2 kgf/cm² de pressão na entrada do intercooler e 0,8 kgf/cm² de pressão na saída do intercooler). Assim sendo, podemos dizer que a perda de pressão será maior que o aumento da densidade, com isso, a potência final do motor será menor. Para um bom intercooler, a perda de pressão deve ser no máximo de 10%, ou seja, se utilizarmos 1,5 kgf/cm² de pressão, a perda máxima deve ser de 0,15 kgf/cm².

REGRA: Está absolutamente incorreto pensar que qualquer intercooler é melhor que nenhum. (BELL, 1997, pág. 47)

Calculando o Rendimento do Intercooler

A mudança da densidade do ar comprimido é calculada considerando a diferença de temperatura e a pressão na entrada e na saída do intercooler. Quando conhecemos a eficiência do intercooler (h_i) e a temperatura do ar na saída do compressor (calculado no capítulo 4), utilizamos a seguinte fórmula para calcular a temperatura de queda no intercooler:

$$T_{\text{queda interc}} = (T_{\text{saída comp}} - T_{\text{amb}}) \times h_i \quad (9)$$

Após conhecermos a temperatura de queda no intercooler, utilizamos a seguinte fórmula para calcularmos a temperatura do ar na saída do intercooler:

$$T_{\text{saída interc}} = T_{\text{saída comp}} - T_{\text{queda interc}} \quad (10)$$

Observação: caso não saibamos a eficiência do intercooler (h_i), não é possível calcular a temperatura do ar na saída do intercooler, com isso, devemos medi-la na prática (com o auxílio de um termômetro).

Para calcularmos a relação de densidade do intercooler, devemos conhecer as pressões na saída do compressor e na saída do intercooler, e as temperaturas na saída do compressor (calculado no capítulo 4 através da fórmula 3) e na saída do intercooler (fórmula 10). A relação de densidade do intercooler é conseguida pela seguinte fórmula:

$$\text{Relação densidade interc} = \frac{(T_{\text{saída comp}} + 273^\circ C)}{(T_{\text{saída interc}} + 273^\circ C)} \times \frac{(P_{\text{saída comp}} \times P_{\text{saída interc}})}{(2 \times P_{\text{saída comp}})} \quad (11)$$

Após calcularmos a relação de densidade do intercooler, temos condições de calcular a potência estimada do motor turbinado e intercoolado. Calcula-se através da seguinte fórmula:

$$P_{\text{motor turbo interc}} = P_{\text{motor turbo}} \times \text{Relação densidade interc}$$

Observação: A potência do motor turboalimentado (P motor turbo) foi calculada na através da fórmula (8).

EXEMPLO:

Para melhor compreensão das fórmulas mostradas neste capítulo, calcularemos a potência estimada de um motor turboalimentado que utiliza um intercooler. Dados:

$$h_i = 60 \%$$

$$T_{\text{ambiente}} = 20^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{saída comp}} = 137,0^\circ\text{C} \text{ (exemplo capítulo 4)}$$

$$P_{\text{saída comp}} = 1,48 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Perda de pressão no intercooler} = 5\%$$

$$P \text{ motor turbo} = 106 \text{ cv}$$

Calculando a temperatura de queda no intercooler:

$$T_{\text{queda interc}} = (T_{\text{saída comp}} - T_{\text{amb}}) \times h_i \quad (9)$$

$$T_{\text{queda interc}} = (137^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \times 0,60$$

$$T_{\text{queda interc}} = 70,2^\circ\text{C}$$

Calculando a temperatura do ar na saída do intercooler:

$$T_{\text{saída interc}} = T_{\text{saída comp}} - T_{\text{queda interc}} \quad (10)$$

$$T_{\text{saída interc}} = 137,0^\circ\text{C} - 70,2^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{saída interc}} = 66,8^\circ\text{C}$$

Calculando a pressão de saída no intercooler:

$$P_{\text{saída interc}} = P_{\text{saída comp}} - (P_{\text{saída comp}} \times \text{Perda de pressão intercooler}) \quad (13)$$

$$P_{\text{saída interc}} = 1,48 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} - \left(1,48 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 0,05 \right)$$

$$P_{\text{saída interc}} = 1,48 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} - 0,074 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 1,40 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Calculando a relação de densidade do intercooler:

$$\text{Relação densidade interc} = \frac{(T_{\text{saída comp}} + 273^\circ\text{C})}{(T_{\text{saída interc}} + 273^\circ\text{C})} \times \frac{(P_{\text{saída comp}} \times P_{\text{saída interc}})}{(2 \times P_{\text{saída comp}})} \quad (11)$$

$$\text{Relação densidade interc} = \frac{(137,0^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C})}{(66,8^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C})} \times \frac{\left(1,48 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 1,40 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}{\left(2 \times 1,48 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$\text{Relação densidade interc} = \frac{(410,0^\circ\text{C})}{(339,8^\circ\text{C})} \times \frac{\left(2,88 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}{\left(2,96 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)}$$

Relação densidade interc = $1,206 \times 0,972 = 1,17$

Calculando a potência estimada do motor turboalimentado com intercooler:

$$P_{\text{motor turbo interc}} = P_{\text{motor turbo}} \times \text{Relação densidade interc}$$

$$P_{\text{motor turbo interc}} = 106 \text{ cv} \times 1,17$$

$$P_{\text{motor turbo interc}} = 124 \text{ cv}$$

Observação: Para calcularmos a potência estimada desprezamos as perdas de carga do sistema, mas se levássemos em consideração, com certeza a potência seria menor.

Tipos de Intercoolers

Atualmente há dois tipos de intercoolers satisfatórios para o uso de rua, a unidade ar/ar e a unidade ar/água. Cada um tem seus próprios méritos. Para decidirmos qual a unidade mais satisfatória em uma aplicação particular, devemos analisar os méritos de cada, de acordo com as configurações do veículo. A unidade ar/ar geralmente terá maior simplicidade, maior eficiência térmica em altas velocidades, maior confiabilidade, baixa manutenção e custo menor. A unidade ar/água geralmente terá maior eficiência térmica a baixas temperaturas e atraso menor.

A unidade ar/ar é a mais utilizada devido a sua simplicidade e outras vantagens, porém alguns casos especiais, onde não há espaço ou lugar adequado para sua instalação (devido as grandes dimensões), a unidade ar/água pode ser a melhor opção.

Intercooler ar/ar

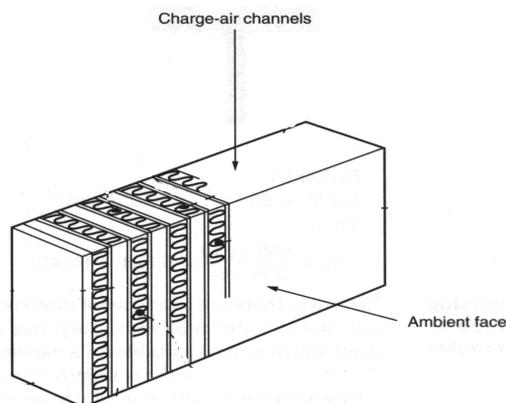


Figura 125: Trocador de calor ar/ar

O intercooler ar/ar é um trocador de calor, onde o ar externo (ambiente) retira calor do ar comprimido (sistema de turboalimentação), com isso, sua temperatura diminui. Normalmente a unidade ar/ar é colocada na frente ou ao lado do radiador (na parte frontal do automóvel), isto para que um maior volume de ar externo entre em contato com o intercooler, aumentando assim, sua eficiência. A Figura 125 representa um trocador de calor ar/ar, onde o fluxo do ar comprimido desloca-se pela vertical e o

fluxo de ar ambiente desloca-se pela horizontal; e a Figura 126 mostra um intercooler instalado em um automóvel.

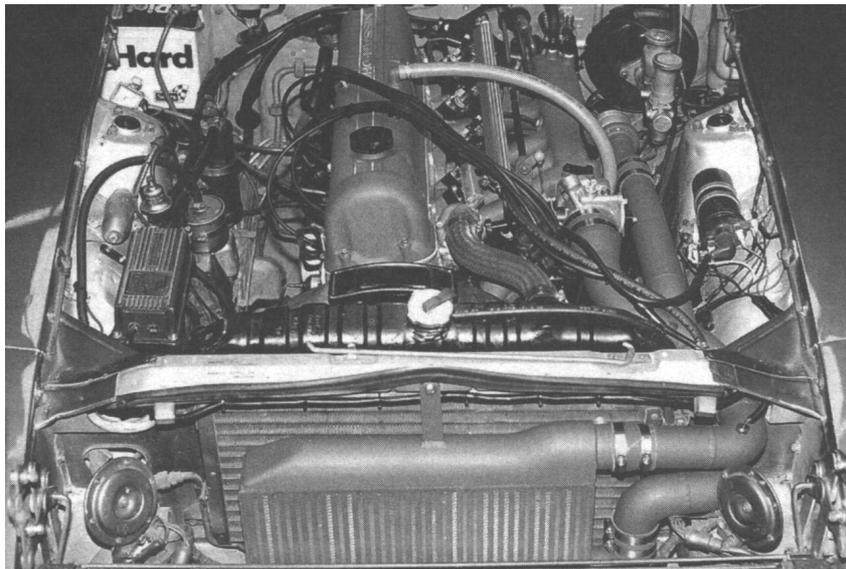


Figura 126: Intercooler instalado

Área do intercooler na direção do ar comprimido

Não há nenhuma fórmula para calcularmos a “área do intercooler na direção do ar comprimido” correta para uma determinada vazão de ar. Porém a experiência de profissionais mostrou que a Figura 127 demonstra resultados satisfatórios para definirmos a “área interna de fluxo” em um intercooler ar/ar.

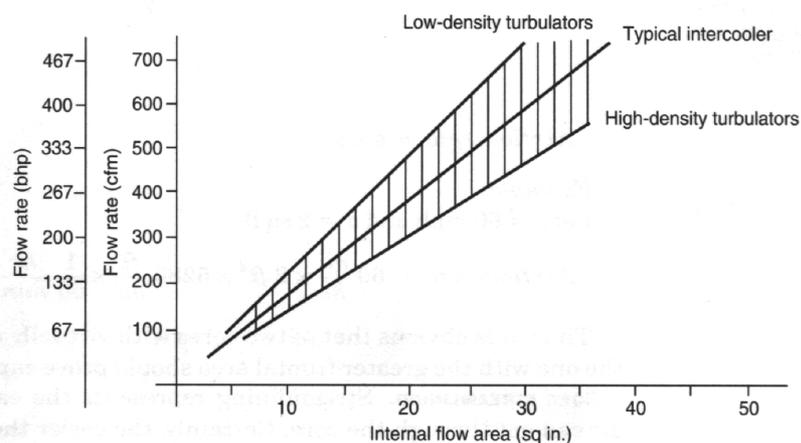


Figura 127: Relação de potência (hp) e área interna de fluxo (po²)

Como já sabemos, em um intercooler ar/ar, há canais para o fluxo de ar comprimido e há canais para o fluxo de ar ambiente. Podemos dizer que, em aproximadamente 45% da área total do intercooler passará ar comprimido, 45% da área total passará ar externo e o restante (10%) será a estrutura do intercooler. Então, para

calcularmos a “área do intercooler na direção do ar comprimido” devemos dividir a “área interna de fluxo” (retirada da figura 13) por 0,45. A fórmula abaixo representa essa relação.

$$\text{Área do intercooler na direção do ar comprimido} = \frac{\text{Área interna de fluxo}}{0,45} \quad (14)$$

EXEMPLO:

Definir a “área total do intercooler na direção do ar comprimido” para um motor de 200 hp (aproximadamente 200 cv).

Verificando a figura 13, vimos que a “área interna de fluxo” para um motor de 200 hp é de 17 pol² (polegadas ao quadrado). Após isso, devemos dividir essa área por 0,45 para definirmos qual será a “área do intercooler na direção do ar comprimido”.

Então:

$$\text{Área do intercooler na direção do ar comprimido} = \frac{\text{Área interna de fluxo}}{0,45} \quad (14)$$

$$\text{Área do intercooler na direção do ar comprimido} = \frac{17 \text{ pol}^2}{0,45} = 37,7 \text{ pol}^2$$

Após definirmos a área do intercooler na direção do ar comprimido podemos definir a largura do intercooler analisando a espessura disponível no veículo. Então:

Para uma espessura do intercooler de 2 pol (50,8 mm):

$$\text{Largura do intercooler} = \frac{37,7 \text{ pol}^2}{2 \text{ pol}} = 18,85 \text{ pol} = 478,8 \text{ mm}$$

Para uma espessura do intercooler de 3 pol (76,2 mm):

$$\text{Largura do intercooler} = \frac{37,7 \text{ pol}^2}{3 \text{ pol}} = 12,56 \text{ pol} = 319,2 \text{ mm}$$

Área frontal do intercooler

A área frontal do intercooler não está ligada com a perda de carga do ar comprimido, e sim, com sua eficiência. Podemos dizer então, que um intercooler de área frontal maior, terá uma melhor eficiência que um de área frontal menor. Sendo assim, devemos primeiramente verificar a espessura e calcular a largura do intercooler, após isso devemos analisar a altura máxima disponível para esse. Enquanto maior a altura do intercooler, maior será sua eficiência, aumentando assim, a troca de calor com o ar ambiente. A Figura 128 representa a área frontal de um intercooler ar/ar.

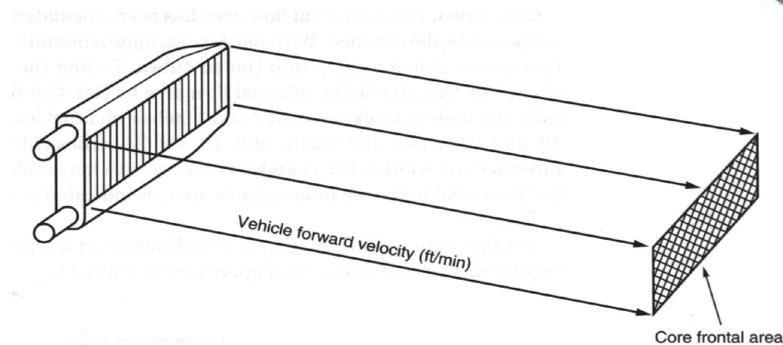


Figura 128: Área frontal de um intercooler ar/ar

Intercooler ar/água

O uso do intercooler ar/água se torna uma alternativa atraente quando não há espaço adequado ou há restrições ao uso da unidade ar/ar. Como grandes vantagens o intercooler ar/água tem boa eficiência em baixas velocidades, sendo uma melhor opção para veículos que rodam somente na cidade. Além disso, o coeficiente de transferência de calor entre a água e o alumínio é bem maior que o coeficiente de transferência de calor entre o ar e o alumínio, assim sendo, os sistemas de intercooler ar/água bem dimensionados podem chegar a uma eficiência próxima aos 100%. A desvantagem do intercooler ar/água é o alto custo, maior complexidade, além de utilizar vários componentes (bomba, radiador, reservatório, intercooler, mangueiras, fios elétricos, etc). A Figura 129 demonstra de forma simplificada um sistema de intercooler ar/água.

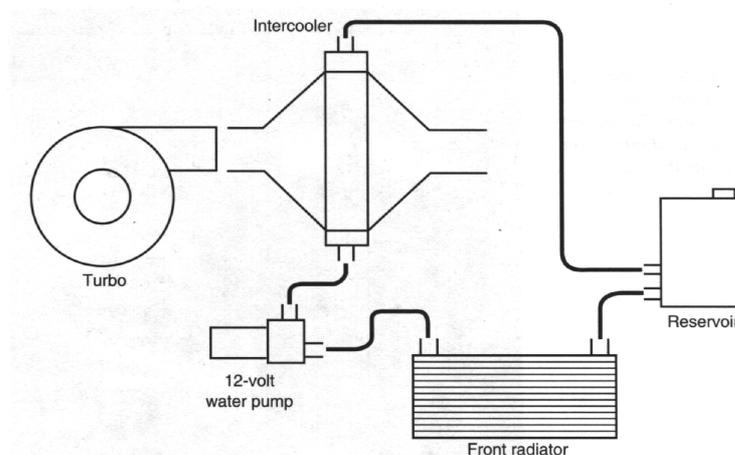


Figura 129: Sistema de intercooler ar/água

Dentre os principais componentes do sistema de intercooler ar/água, discutiremos um pouco sobre cada um:

Bomba de água: normalmente as bombas de água são de acionamento elétrico de 12 V. Esta bomba deve estar preparada para trabalhar durante várias horas sem interrupção, assegurando assim a confiabilidade do sistema em uma viagem de longa distância, por exemplo. A vazão da bomba de água varia conforme o sistema, mas pode-se dizer que uma vazão entre 30 a 40 l/min é uma boa opção.

Reservatório: o tamanho do reservatório é de grande importância para a eficiência do intercooler ar/água. Através da experiência, foi constatado que uma mesma partícula de água deve passar pelo sistema a cada 15 segundos, devido a isso, deve-se assegurar que essa não irá passar duas vezes neste intervalo de tempo. Então, para um sistema com uma bomba de 40 l/min de vazão, essa irá bombear 10 litros a cada 15 segundos. Com isso, podemos dizer que o reservatório ideal é de 10 litros de água. Se utilizarmos reservatórios maiores que o necessário, o radiador de água deverá ser maior, pois enquanto maior a massa de água, maior será a inércia térmica.

Radiador de água: é a parte menos importante do sistema do intercooler ar/água, pois não há grandes aumentos da temperatura da água na troca de calor com o ar comprimido devido a sua grande vazão, assim sendo, não há necessidade de um radiador de água de grandes dimensões.

Lubrificação do Turboalimentador

A lubrificação do turboalimentador é de grande importância para o funcionamento e a confiabilidade do sistema de turboalimentação. Como já sabemos o turboalimentador possui dois rotores ligados por um eixo, e esse é apoiado sobre dois mancais flutuantes. O eixo e os mancais são lubrificados e refrigerados pelo óleo lubrificante do motor. O óleo lubrificante faz o seguinte ciclo para lubrificar e refrigerar o turboalimentador:

- a bomba succiona o óleo que está depositado no cárter;
- o óleo vai até o turbo através das mangueiras de pressão;
- o óleo passa sob pressão pelo turbo lubrificando-o e refrigerando-o;
- o óleo desce até o cárter pela ação da gravidade.

Neste capítulo estudaremos a coqueificação (que é o grande problema em sistemas de turboalimentação), como selecionar um óleo lubrificante, exigências de pressão no turboalimentador e sistema de dreno de óleo.

Coqueificação

A coqueificação é a formação de um resíduo sólido proveniente da queima do óleo lubrificante do motor. Ela ocorre quando esse óleo entra em contato com partes muito quentes do turboalimentador, normalmente no eixo ou no mancal localizado próximo a turbina, formando assim, uma crosta preta (coque) que prejudica ou impossibilita a lubrificação das peças móveis do turbo. Devido a falta de lubrificação causada pelo coque, pode ocorrer a fundição do turboalimentador. A coqueificação ocorre principalmente devido a quatro fatores:

- Óleo com capacidade inadequada a altas temperaturas;
- Óleo com largo alcance de multiviscosidade;
- Grandes intervalos de troca de óleo;
- Calor excessivo nos mancais e no eixo.

Para resolver as três primeiras causas da coqueificação basta utilizar um óleo lubrificante adequado e diminuir o intervalo da troca para 3000 km a 5000 km, conforme o caso. Porém para resolver a última causa (calor excessivo nos mancais e

eixo), foi projetada uma cavidade na carcaça central do turboalimentador onde passa água proveniente do sistema de refrigeração do motor, isso para refrigerar os mancais e o eixo do turbo. A Figura 130 representa a cavidade de água, o eixo e o mancal em um turboalimentador.

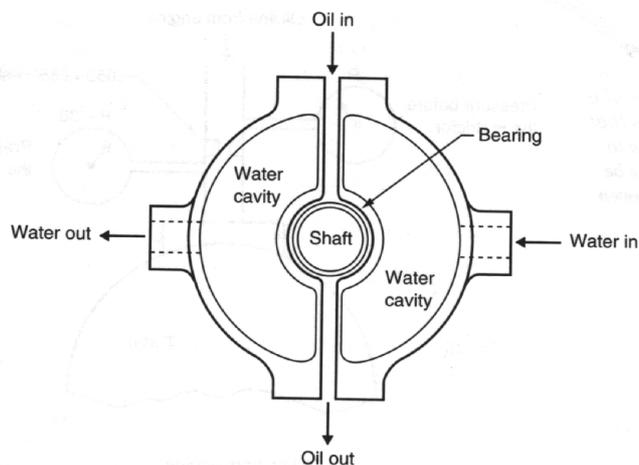


Figura 130: Cavidade de água, eixo e mancal em um turboalimentador

Selecionando um óleo lubrificante

Não há muitos segredos para determinarmos qual o óleo lubrificante mais adequado. Primeiramente devemos analisar quais são os melhores fabricantes de lubrificantes. Após isso devemos considerar o ciclo e as condições operacionais que o óleo deve suportar. Com essas informações teremos uma boa marca de óleo, a temperatura que o lubrificante deverá suportar e sua viscosidade. Em geral, é melhor evitar um largo alcance de multiviscosidade para não ocorrer a coqueificação, assim sendo, é preferível usar um óleo 20W40 do que um 15W50.

Em relação ao uso de óleo sintético ou óleos minerais, pode-se dizer que os óleos sintéticos têm uma estrutura molecular mais uniforme e melhor controlada, com isso, há uma maior estabilidade a altas temperaturas e o tempo entre as trocas de óleo pode ser maior. Os óleos minerais são mais baratos e mais prováveis a coqueificação. Em caso onde a temperatura do óleo excede o limite máximo admitido por esse, deve-se utilizar um radiador de óleo para o perfeito funcionamento do sistema. Os veículos de competição turboalimentados normalmente utilizam radiadores de óleo.

Exigências de pressão

Ao contrário de que muitas pessoas imaginam, o turbo trabalha com baixa pressão e baixa vazão de óleo. Podemos dizer que todos os motores hoje possuem uma vazão de óleo suficiente para lubrificar adequadamente um turbo adaptado. Porém a pressão de óleo utilizada nos motores é maior que a pressão necessária para os turbos.

Em um sistema de turboalimentação ideal, devemos medir as pressões de óleo fornecidas pela bomba e compararmos com as pressões de óleo exigidas pelo turbo (fornecidas pelo fabricante). Se um motor trabalha com pressões maiores que os selos do turbo suportam, ocorre um vazamento de óleo o qual é expulso pelo escapamento, em forma de fumaça branca. Os turbos, normalmente, suportam pressões máximas de

65 a 70 psi ($\pm 4,5$ kgf/cm²), e caso a bomba de óleo produza pressões maiores, é necessário incorporar ao sistema de lubrificação um redutor de pressão de óleo. A Figura 131 representa um redutor de pressão de óleo.

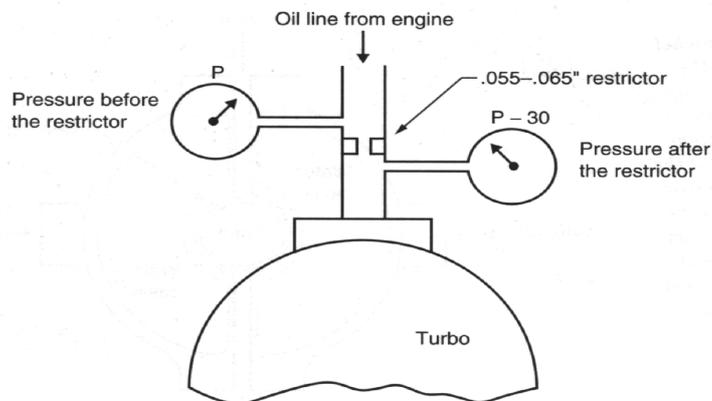


Figura 131: Redutor de pressão de óleo

Sistema de dreno do óleo

A linha de retorno de óleo é de grande importância no sistema de lubrificação do turboalimentador. O óleo lubrificante ao passar pelo turbo aquece consideravelmente, devido a isso, deve escoar rapidamente (através da força gravitacional) para evitar a coqueificação e trocar calor no cárter. Então, deve-se levar em conta o posicionamento ideal do turbo para que se tenha uma linha de dreno eficiente, ou seja, o turbo deve ser posicionado alto bastante para permitir um declive acentuado até o cárter de óleo.

Em um sistema de dreno do óleo, devemos observar alguns fundamentos:

- Ângulo de saída do turbo: a linha de saída do turbo deve, sempre que possível, estar na vertical, por em casos particulares, aceita-se ângulos, no máximo, de 30° em relação a linha vertical.
- Diâmetro da mangueira: como já sabemos, a pressão do óleo após o turbo é baixa, então o diâmetro da mangueira na saída deve ser bem maior que na entrada para a mesma vazão. Na maioria dos sistemas, uma mangueira com ½ pol. (12,7 mm) de diâmetro é uma boa escolha.
- Percurso da linha de dreno: idealmente a mangueira de dreno deveria sair do turbo e ir diretamente para o cárter de óleo, sem dobras, curvas bruscas nem subidas. Esforços e premeditações são necessários aqui.

Controladores de Pressão

Os controladores de pressão são de extrema importância em um sistema de turboalimentação. Em um motor turboalimentado ao pisar fundo no acelerador, aumenta-se a quantidade de gases de combustão que saem do motor, o turbo gira mais rapidamente e aumenta a pressão de sobrealimentação, resultando mais compressão, mais potência, mais rotações do motor e mais gases de combustão. Entraríamos em círculo vicioso, onde o turbo giraria cada vez mais rápido, produzindo pressões cada vez maiores. O resultado disso seria o excesso de rotação do turbo e pressões de sobrealimentação maiores que o admissível pelo motor, causando assim a detonação

(auto-ignição) do combustível e a quebra do motor devido ao excesso de carga. Teríamos um sistema com péssimo funcionamento e baixa confiabilidade.

Para que os sistemas de turboalimentação não tenham esse problema, utiliza-se um componente para que a pressão de sobrealimentação não exceda ao limite máximo admissível pelo motor. Esse componente é chamado de controlador de pressão, e pode ser de dois tipos: válvulas de alívio e válvula Wastegate.

Válvula de alívio

As válvulas de alívio (válvulas *blowoff*) têm a função de controlar a pressão máxima de sobrealimentação abrindo um caminho alternativo para o ar comprimido, quando esse encontra-se acima da pressão limite. A Figura 132 representa a válvula de alívio em um sistema de turboalimentação.

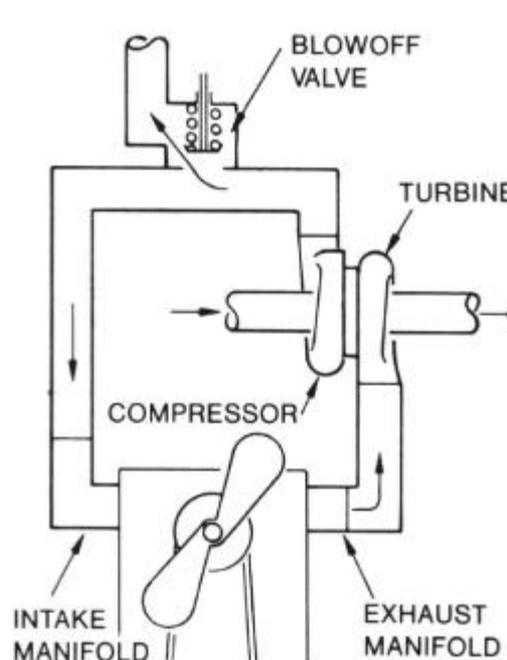


Figura 132: Válvula de alívio (blowoff valve) em um sistema de turboalimentação

As vantagens da válvula de alívio são a fácil instalação e a fácil regulagem para aumentar ou diminuir a pressão máxima de sobrealimentação.

Porém são muitas as desvantagens da válvula de alívio, tanto que hoje não são mais utilizadas. Como grande e principal desvantagem é a redução da vida útil do turbo, pois, ao se abrir, limita a pressão máxima, mas não impede que os gases de combustão empurrem mais a turbina, fazendo-a girar em regime mais elevado (bem mais elevado, dependendo da vazão do motor). Ao girar em rotações bem maiores, a vida útil dos mancais, rotores e eixo do turbo é reduzida, sendo essa redução tão mais drástica quanto menor for a turbina e mais “preparado” for o motor. Além disso, as válvulas de alívio (*blowoff*) são menos eficientes, sendo assim, não controlam com exatidão a pressão máxima de sobrealimentação

Válvulas Wastegate

A válvula wastegate (waste - desperdício, perda; gate – válvula) funciona desperdiçando ou desviando uma parte dos gases de combustão, antes que esse passe pela turbina. Ao desviar parte dos gases de combustão, a velocidade máxima da turbina pode ser controlada, controlando assim a pressão máxima de sobrealimentação. A válvula wastegate tem o seguinte funcionamento:

- tomada de pressão do ar comprimido logo após o compressor;
- a pressão segue por uma mangueira até a válvula;
- quando a pressão do ar comprimido é maior que a pressão da mola, a haste da válvula desloca-se;
- quando a haste da válvula desloca-se, abre-se um orifício (antes da turbina) e os gases de combustão passam por uma saída alternativa;
- como apenas uma parte dos gases de combustão passam pela turbina, a rotação do turbo e a pressão de sobrealimentação é controlada.

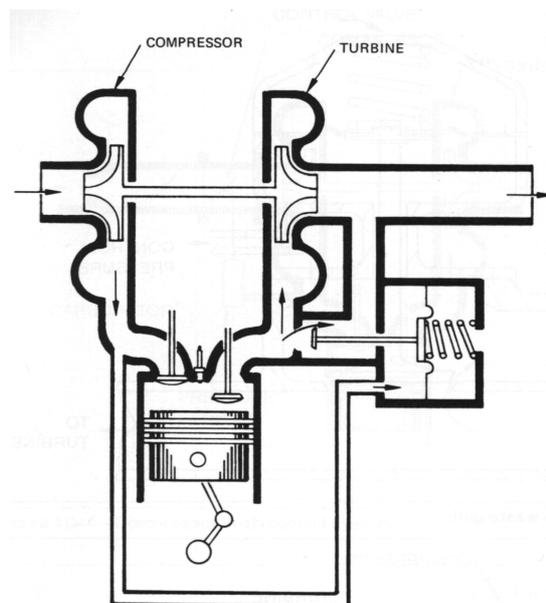


Figura 133: Válvula wastegate em um Sistema de turboalimentação

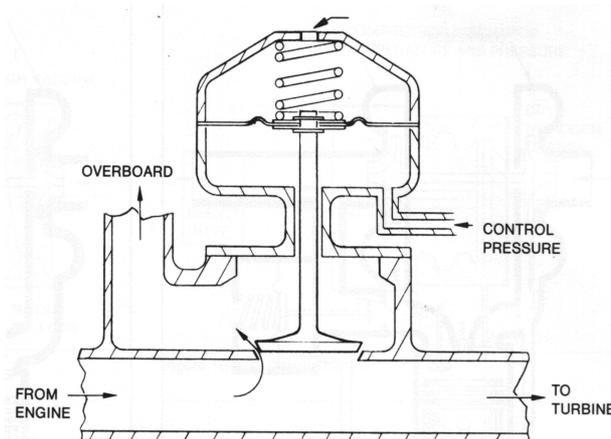


Figura 134: Funcionamento da válvula wastegate

A Figura 133 e a Figura 134 demonstram uma válvula wastegate em um sistema de turboalimentação e seu funcionamento.

A válvula wastegate é atualmente a melhor escolha para controlar a pressão de sobrealimentação, porém não tem um conceito perfeito. Primeiramente, funciona desperdiçando parte da energia. A segunda falha é a necessidade da válvula começar a abrir bem antes de alcançar a pressão máxima, isto para conseguir se estabilizar quando a pressão limite é alcançada. Em outras palavras, se a pressão máxima do sistema está regulada para 1,0 kgf/cm², a válvula começara a abrir a partir dos 0,5 kgf/cm², sendo assim, desperdiçará parte da energia que poderia ser usada para acelerar mais rapidamente o turbo.

Para suprir essa deficiência, os sistemas de turboalimentação mais avançados (como por exemplo no Fiat Marea Turbo e o Gol 1.0 16V Turbo) utilizam uma válvula wastegate eletromagnética, que é controlada por uma central eletrônica, a qual avisa a hora certa de abrir o desvio dos gases de combustão. Então, os sistemas de turboalimentação que utilizam essa válvula eletromagnética, não desperdiçam parte da energia antes que a pressão máxima de sobrealimentação seja alcançada, com isso, nota-se um pequeno (porém considerável) aumento do torque do motor, melhorando assim as respostas em médias rotações.

Outros Componentes do Sistema de Turboalimentação

Além dos componentes já vistos, o sistema de turboalimentação requer outros componentes para que o motor funcione nas melhores condições possíveis. Os cinco primeiros itens que estudaremos neste capítulo já compõem os motores aspirados, porém devem ser modificados quando o motor recebe um turboalimentador. O sexto item é uma válvula necessária para o melhor funcionamento do sistema de turboalimentação. Veremos neste capítulo o corpo de borboleta, o coletor de admissão, o sistema de ignição, o coletor de escape, o sistema de escape e a válvula de propriedade.

Corpo de borboleta

O corpo de borboleta é um componente que tem a função de controlar a quantidade de ar que entra no motor. Esse componente é encontrado somente nos motores que utilizam o sistema de injeção eletrônica. A Figura 135 mostra um corpo de borboleta.

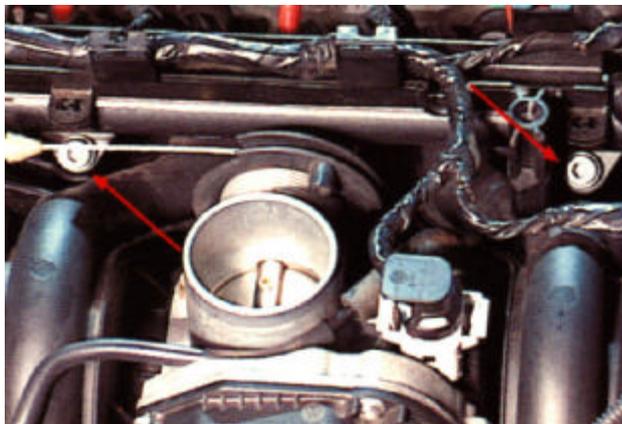


Figura 135: Corpo de borboleta

Um corpo de borboleta mal dimensionado para uma determinada vazão de ar, afetará diretamente no desempenho do motor. Quando o corpo de borboleta for muito pequeno para uma determinada vazão de ar, ocorrerá uma restrição da corrente de ar, ou seja, diminuirá consideravelmente a pressão de sobrealimentação, diminuindo assim a potência e o torque do motor. Porém, se o corpo de borboleta for muito grande para uma determinada vazão de ar, o veículo ficará com uma péssima dirigibilidade, pois este terá respostas muito bruscas mesmo com pequenas acelerações (pressionando levemente o acelerador), isto porque uma pequena abertura da borboleta, passará uma grande quantidade de ar para aquele motor, tornando-o “nervoso”. Então, ao turbinar um motor, o corpo da borboleta deve ser redimensionado para a nova vazão de ar. Em um corpo de borboleta bem dimensionado, a velocidade do fluxo de ar deve ser no máximo de 90 m/s, isto para que a perda de pressão devido a restrição da área não influa na potência do motor. Para calcularmos a velocidade do fluxo de ar utilizamos a seguinte fórmula:

$$\text{Velocidade do fluxo de ar} = \frac{\text{Vazão de ar do motor}}{\text{Área do corpo da borboleta}} \quad (15)$$

EXEMPLO:

Em motor turboalimentador com uma vazão de ar de 4,5 m³/min e diâmetro do corpo de borboleta de 35 mm, qual será a velocidade do fluxo de ar:

$$\text{Onde: } A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (35 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4} = 9,62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidade do fluxo de ar} = \frac{\text{Vazão de ar do motor}}{\text{Área do corpo da borboleta}} \quad (15)$$

$$\text{Velocidade do fluxo de ar} = \frac{4,5 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{9,62 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$\text{Velocidade do fluxo de ar} = 77,9 \text{ m/s}$$

Coletor de admissão

O coletor de admissão tem a função de dirigir a corrente de ar para as câmaras de combustão. Os coletores de admissão normalmente são de alumínio fundido em função da sua maior capacidade de resistência à fadiga, provocada pelas grandes variações de pressões no sistema de admissão. Para projetarmos um bom coletor de admissão devemos nos preocupar em elaborar uma forma ideal para o ar comprimido entrar nas câmaras de combustão. Isto é conseguido através da redução gradual da área do corredor aproximando-se das câmaras de combustão, com isso teremos uma maior velocidade do ar, promovendo assim uma turbulência nas câmaras, rendendo uma melhor combustão. Com velocidades maiores do fluxo de ar, as câmaras de combustão enchem mais, produzindo maior potência do motor.

A Figura 136 mostra tipos de coletores de admissão e a Figura 137 mostra um coletor de admissão do Mazda Rotary.

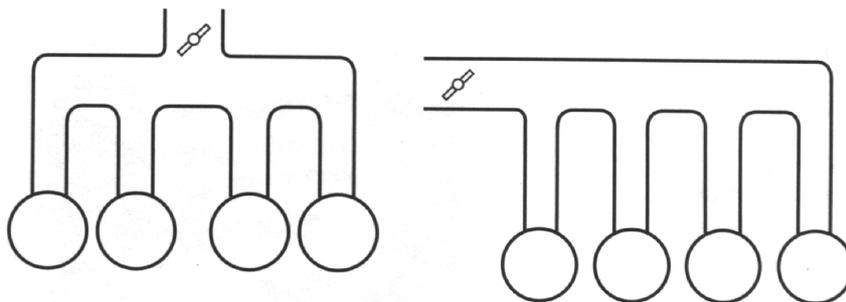


Figura 136: Tipos de coletores de admissão



Figura 137: Coletor de admissão do Mazda Rotary

Sistema de Ignição

Em virtude da maior pressão e a maior quantidade da mistura ar/combustível no cilindro no momento da ignição, as condições de disparo da centelha tornam-se mais difíceis em um motor turboalimentado. Para o melhor funcionamento do motor turbo, é necessário alterar o sistema de ignição a fim de aumentar a potência elétrica disponível na vela, e portanto a confiabilidade da ocorrência da centelha, reduzindo assim a possibilidade de falhas de ignição, chamadas “*misfirings*”. Uma boa opção para aumentar a potência elétrica no sistema de ignição é utilizar um sistema de bobina dupla.

Velas

A escolha de uma vela adequada para um motor turboalimentado é relativamente fácil. O calor das velas é o fator chave para uma escolha correta. Velas quentes (*hot plugs*) trabalham a temperaturas mais elevadas, isto para garantirem uma perfeita combustão em motores de baixa compressão. Velas frias (*cold plugs*) trabalham a temperaturas menores, isto para que se tenha uma perfeita combustão em motores com alta taxa de combustão, e motores turboalimentados, além disso se reduzem as chances de detonação da mistura. Se utilizarmos velas quentes em um motor turbo, provavelmente ocorrerá a detonação do combustível devido a alta temperatura da vela. A Figura 138 mostra a diferença entre vela fria (*cold plug*) e vela quente (*hot plug*).

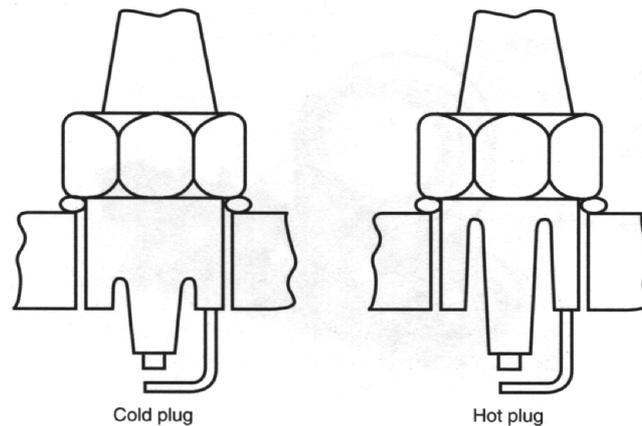


Figura 138: Diferença entre vela fria (cold plug) e vela quente (hot plug)

Para selecionarmos uma vela correta para um motor turboalimentado, devemos escolher primeiramente uma vela com dois pontos mais frio que o motor originalmente aspirado utiliza. Se a vela deteriorar rapidamente tente um terceiro ponto mais frio. Se a vela “suja” facilmente ou não queima corretamente a mistura ar/combustível, diminua um ponto de sua caloria.

Coletor de escape

O coletor de escape é de grande importância no desempenho de um sistema de turboalimentação, por isso deve ser bem projetado para que a potência do motor seja satisfatória. O coletor de escape tem como principais objetivos:

- suportar o turboalimentador;
- direcionar os gases de combustão para a turbina;
- não permitir que o calor dos gases de combustão escape por suas paredes.

Para suprir o primeiro objetivo, o coletor de escape deve ter uma estrutura suficiente para suportar o turboalimentador, sem riscos de quebras.

Para suprir o segundo objetivo, o coletor deve ter um layout adequado para que os gases de combustão adquiram grandes velocidades então, deve-se eliminar as dobras e curvas bruscas. Além disso, o diâmetro do tubo deve ser adequado para o tamanho da turbina e o tamanho do motor. Devemos lembrar que tubos com diâmetros muito grandes reduzem a velocidade dos gases de combustão, diminuindo a rotação da turbina, e tubos com diâmetros muito pequenos aumentam a pressão atrás da turbina, prejudicando a potência do motor.

Para suprir o terceiro objetivo, devemos escolher um material adequado para construção do coletor de escape. Como a temperatura dos gases de combustão está diretamente relacionada com a energia fornecida para a turbina, devemos então conservá-la a máxima possível. Para isso devemos optar por materiais de baixa condutividade térmica ao construirmos um coletor de escape, assim, a temperatura fornecida pelos gases de combustão será direcionada para a turbina, não trocando calor com o ambiente. O aço inoxidável é uma boa opção devido a baixa condutividade térmica e relativamente fácil de ser trabalhada. O ferro fundido tem uma condutividade térmica um pouco mais elevada, porém é facilmente modelado, inclusive para formas mais complexas. Devido a isso é o material mais utilizado na construção do coletores

de escape. A Figura 139 e a Figura 140 mostram coletores de escape em motores de 8 e 12 cilindros.



Figura 139: Coletores de escape para um motor de 8 cilindros

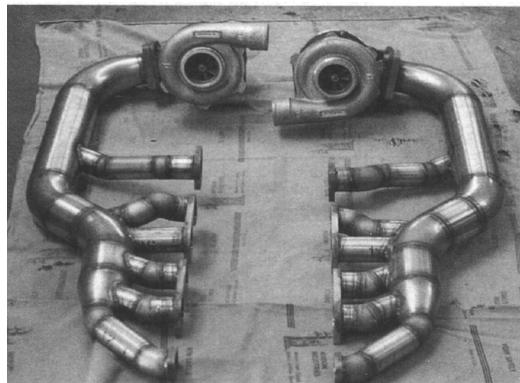


Figura 140: Coletores de escape para um motor de 12 cilindros

Escapamento

O escapamento é constituído por um tubo que direciona os gases de combustão da turbina até a parte traseira do veículo. O escapamento não requer estudos nem premeditações, o único cuidado que devemos ter é a pressão dos gases de combustão, ou seja, se há uma grande pressão no escapamento devido a pequena área do tubo, a potência do motor pode ser prejudicada. Além disso, devemos cuidar com os silenciadores utilizados, pois esses produzem a restrição dos gases de combustão, aumentando assim a pressão no escapamento. Para motores turboalimentados, devemos utilizar silenciadores grandes que tenham baixa restrição. Observação: a turbina reduz em 1/3 o ruído do motor, então o número de silenciadores utilizados para um motor turbinado pode ser menor que para um motor aspirado.

Para selecionarmos um tubo adequado para um determinado motor, podemos utilizar o gráfico mostrado na Figura 141, que relaciona a potência do motor (hp) e o diâmetro do tubo (pol).

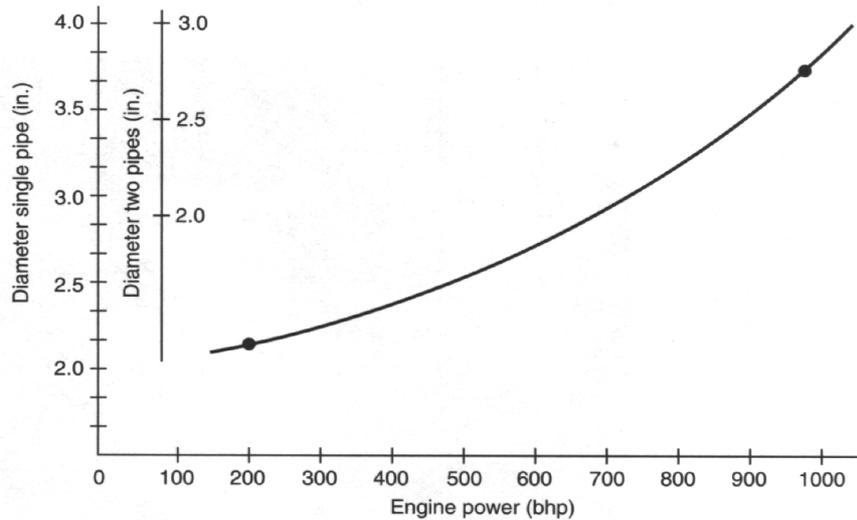


Figura 141: Relação entre potência do motor (hp) e diâmetro do escapamento (pol)

Válvula de prioridade

A válvula de prioridade tem a função de reduzir o atraso (o retardo da entrada em funcionamento do turboalimentador). É acionada pelo vácuo formado quando se tira o pé do acelerador. Nessa ocasião a borboleta de aspiração se fecha, impedindo o compressor de empurrar ar para o coletor de admissão. Se não houver uma válvula de prioridade, o turboalimentador é freado bruscamente pela interrupção do fluxo de ar, e deve retomar sua rotação quando o acelerador é acionado novamente, o que resulta no atraso. Com essa frenada, pode haver a quebra de pás do rotor do compressor ou a quebra da borboleta de aspiração. A válvula de prioridade abre um caminho alternativo para o ar comprimido do turboalimentador, lançando-o para à atmosfera e evitando a interrupção do fluxo de ar e a desaceleração do turbo. O ar que estava comprimido então se descomprime e produz o ruído de “espirro” que alguns apreciam e outros dispensam. A Figura 142 mostra uma válvula de prioridade.

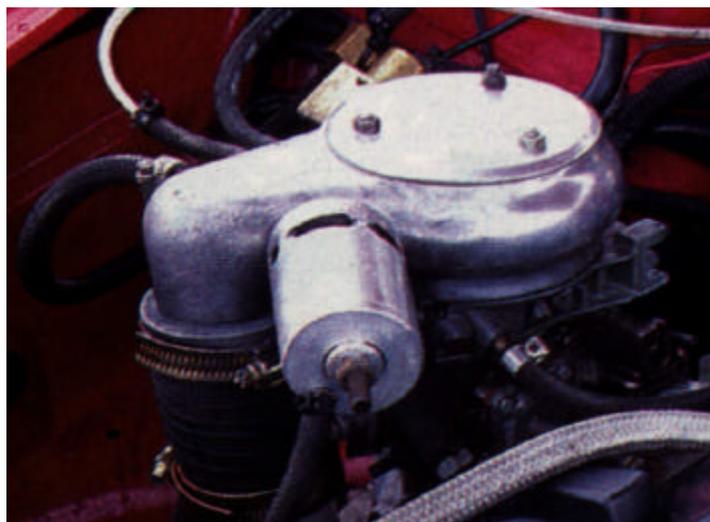


Figura 142: Válvula de prioridade

Legislação Brasileira em Relação ao uso de Turboalimentador

Nada há na legislação de trânsito que se refere ao turboalimentador ou a outros componentes de preparação. O art. 98 do novo Código de Trânsito apenas proíbe modificações nas características de fábrica do veículo “sem prévia autorização da autoridade competente”, sujeitando os infratores a multa e à retenção do veículo até a regularização.

Art. 98. Nenhum proprietário ou responsável poderá, sem prévia autorização da autoridade competente, fazer ou ordenar que sejam feitas no veículo modificações de suas características de fábrica.

Parágrafo único. Os veículos e motores novos ou usados que sofrem alterações ou conversões são obrigados a atender aos mesmos limites e exigências de emissão de poluentes e ruído previstos pelos órgãos ambientais competentes e pelo CONTRAM, cabendo à entidade executora das modificações e ao proprietário do veículo a responsabilidade pelo cumprimento das exigências. (RODRIGUES, 2000, P.01)

A interpretação da norma pelos Detrans é polêmica, porém já é permitida a legalização de carros preparados e turbinados. Quando instalado o turbo e havendo intenção de legalizar o equipamento, o proprietário deve solicitar a expedição de um novo documento para o veículo, constatando as modificações.

Art. 123. Será obrigatória a expedição de novo Certificado de Registro de Veículo quando:

- III – for alterada qualquer característica do veículo;
- IV – houver mudança de categoria.

Art. 124. Para a expedição do novo Certificado de Registro de Veículo serão exigidos os seguintes documentos:

- I – Certificado de Registro de Veículo anterior;
- II – Certificado de licenciamento anual;
- III – Comprovante de transferência de propriedade, quando for o caso, conforme modelo e normas estabelecidas pelo CONTRAN;
- IV – Certificado da Segurança Veicular e de emissão de poluentes e ruídos, quando houver adaptação ou alteração de características do veículo;
- V – Comprovante de procedência e justificativa da propriedade dos componentes e agregados adaptados ou montados no veículo, quando houver alteração das características originais de fábrica;
- X – Comprovante relativo ao cumprimento do disposto no art. 98, quando houver alteração nas características originais do veículo que afetem a emissão de poluentes e ruídos;
- XI – Comprovante de aprovação de inspeção veicular e de poluentes e ruído, quando for o caso, conforme regulamentações do CONTRAN e do CONAMA. (RODRIGUES, 2000, P.02)

Após ter instalado o sistema de turboalimentação, é preciso submeter o carro a uma vistoria técnica, num centro credenciado pelo Inmetro (Instituto Nacional de Pesos

e Medidas), que testará se o veículo mantém um bom padrão de segurança e está de acordo com as normas de emissões poluentes, nível de ruído e espaços de freada também são avaliados.

Então se deve requerer um novo Certificado de Registro e licenciamento. Nele constará a nova potência e pode constar ou não a presença do turbo. Para a aprovação da mudança é indispensável que se apresente as notas fiscais dos equipamentos e da mão-de-obra, bem como um relatório das modificações.

A alteração sem inspeção implica o risco de ter o veículo reprovado nas futuras inspeções anuais obrigatórias além de ter o carro recolhido e proibido de circular até que seja desfeita a alteração não autorizada. O proprietário deverá arcar com multa por infração grave e o carro só voltará a rodar legalmente após nova inspeção veicular e de poluentes. Esta inspeção técnica está prevista no Art.104 do código para efeitos de licenciamento do veículo, e regulamentada pela resolução 84/98, que considera “defeito muito grave” de inspeção as alterações não autorizadas e não constatadas.

Conclusão

Com a utilização de um turboalimentador a potência e o torque de um motor de combustão interna são aumentados consideravelmente, sem alterar as partes móveis desse, com por exemplo pistões, anéis, comando de válvulas, virabrequim etc. Ao turbinar um motor é possível conseguir aumentos de potência entre 30% a 400% dependendo da pressão de sobrealimentação utilizada.

Outra vantagem do turboalimentador é o seu custo/benefício, pois basta instalar o turbo e seus componentes que se consegue um grande aumento de potência, enquanto que num motor aspirado para conseguir a mesma potência final do “turbinado”, deve-se modificar várias partes móveis, aumentando consideravelmente o custo das modificações.

Para instalar um turboalimentador são necessários diversos cuidados para ter um perfeito funcionamento do sistema. Dentre esses, deve-se calcular o compressor adequado para cada motor; deve-se calcular o intercooler de acordo com a vazão de ar do compressor; deve-se ter cuidado com o sistema de lubrificação e o óleo lubrificante a ser utilizado; deve-se alterar alguns componentes do motor como por exemplo as velas, os coletores de admissão e escape, o corpo de borboleta e o escapamento. Além disso, deve-se legalizar o veículo com motor turbo adaptado para evitar problemas com as leis brasileiras.

O turboalimentador é uma boa opção para quem deseja possuir um automóvel com grande potência, isto para utilizá-lo em competições ou dirigi-lo de modo “esportivo”. Para quem deseja um pequeno aumento de potência ou uma economia (aumento da relação km/l), o turboalimentador não é uma boa alternativa, pois requer um certo investimento e a vida útil do motor é reduzida.

A desvantagem de um motor turboalimentado em relação a um motor aspirado é o risco de detonação, pois o ar ao ser comprimido é aquecido, aumentando as chances da auto-ignição da mistura ar/combustível, podendo assim, fundir o motor devido a alta temperatura que esse atinge. A detonação pode ser evitada utilizando intercoolers de alta eficiência, velas mais frias, diminuição da taxa de compressão do motor, ou ainda, utilizar combustível de alta octanagem.

Bibliografia da Parte III

1. BELL, Corky. **Maximum Boost** : Designing, Testing, and Installing Turbocharger Systems. Cambridge-USA : Bentley Publishers, 1997. 250p. il.
2. MACLNNES, Hugh. **Turbochargers**. New York-USA : HP Books, 1984. 159p. il.
3. ROBSON, Graham. **Turbo** : An A – Z of turbocharged cars. London-USA : Quintet Publishing Limited, 1988. 128p. il.
4. MAYER, Michael. **Turbochargers** : Effective use of exhaust gas energy. Translation Dorothee Braemert. Trankenthal-USA : Verlay moderne industrie, 1996. 71p. il.
5. ALVARES FILHO, João, GONDIM, Roger T. O desenvolvimento do motor VW 1.0 16 V Turbo. **Engenharia Automotiva e aeroespacial**. São Paulo, n°2, p. 24 – 31, outubro/novembro 2000.
6. TAYLOR, Charles Fayette. **Análise dos motores de combustão interna**. Traduzido por Mauro Ormeu Cardoso Amorelli. São Paulo : Edgard Blücher, 1995. 558p. il.
7. FLORES, L. F. V. **Sistemas Térmicos I** : Escola Federal de Engenharia de Itajubá, [198-]. 127p. il.
8. TURBOMAC. Funcionamento turbo/motor. Disponível na Internet: <http://www.turbomac.com.br>. 02 de setembro de 2000.
9. PEREIRA, José Cláudio. Motores e Geradores. Disponível na Internet: <http://www.geocities.com/Heartland/Hollow/6258>. 02 de setembro de 2000.
10. SAMAHÁ, Fabrício. **Funcionamento e manutenção do turbo**. Disponível na Internet: <http://www.uol.com.br/bestcars/func.htm>. 02 de setembro de 2000.
11. CARTOXO, Iran, MAKOTO, Alexandre. **Glossário de termos técnicos**. Disponível na Internet: <http://www.uol.com.br/bestcars/glo.htm>. 02 de setembro de 2000.
12. RODRIGUES, Fernando. **Turbo** : problemas com a lei e seguro. Disponível na Internet: <http://www.uol.com.br/bestcars/cl-turbo.htm>. 02 de setembro de 2000.
13. MARTINELLI JÚNIOR, Luiz Carlos. **Noções de Transferência de Calor Parte I**. Ijuí : Unijuí, 1998. 42p. il. (Tecnologia Mecânica, 11).
14. GIECK, K. **Manual de Fórmulas Técnicas**. Traduzido por Carlos Antônio Lauand. 4° Edição. São Paulo : Hemus Editora, 1996. 328p. il.
15. SKUJIS, Henrique. Santa Turbina! **Quatro Rodas**, São Paulo, n°479, p. 48-51, Junho/2000.
16. TOUME, Wilson. Nacional com preço de importado. **Quatro Rodas**, São Paulo, n°449, p. 38-43, Dezembro/1997.

Glossário da Parte III

Tradução das palavras encontradas no trabalho

Tradução das principais palavras encontradas no trabalho e nas ilustrações. As palavras em inglês encontram-se em ordem alfabética.

Air filter – filtro de ar
Airflow – medidor de fluxo de ar
Air in – entrada de ar
Air out – saída de ar
Ambient face – face do ambiente
Bearing – mancal
Charger-air channels – canais de ar comprimido
Cold plug – vela fria
Compressor by-pass valve – válvula de desvio do compressor
Compressor efficiency – eficiência do compressor
Compressor section – seção do compressor
Control pressure – controle de pressão ou tomada de pressão
Core frontal area – área frontal do núcleo do intercooler
Density ratio – razão de densidade
Density recovery with intercooling – densidade recuperada com intercooler
Diameter single pipe – diâmetro do escapamento simples
Diameter two pipe – diâmetro do escapamento duplo
Engine power – potência do motor
Exhaust – gás de combustão
Exhaust gas in – entrada dos gases de combustão
Exhaust gas out – saída dos gases de combustão
Exhaust manifold – coletor de escape
Flow rate – Taxa de fluxo
Front radiator – radiador frontal
High-density tubulators – alta densidade dos tubos
Hot plug – vela quente
Impeller – rotor do compressor
Inlet – entrada de ar
Intake manifold – coletor de admissão
Internal flow area – área interna de fluxo
Low-density tubulators – baixa densidade dos tubos
Oil in – entrada de óleo
Oil line from engine – parte da linha de óleo do motor
Oil out – saída de óleo
Overboard – saída do gás de combustão
Plenum – reservatório de ar no coletor de admissão
Pressure after the restrictor – pressão após o redutor
Pressure before the restrictor – pressão antes do redutor
Pressure ratio – razão de pressão
Reservoir – reservatório

Restrictor – redutor de pressão de óleo

Shaft – eixo

Tailpipe – escapamento

Turbine section – seção da turbina

Turbine wheel – rotor da turbina

Typical atmospheric engine – Típico motor aspirado

Typical intercooler – intercooler típico

Typical turbo engine at 8 psi boost – Típico motor turbo com 8 psi de aumento

Vehicle forward velocity – velocidade do veículo em movimento

Water cavity – cavidade de água

Water in – entrada de água

Water out – saída de água

Water pump – bomba de água