

CAPITULO 1 - INTRODUÇÃO

UNIDADES

DEFINIÇÕES

INTRODUÇÃO

Os motores de combustão podem ser classificados como do tipo de COMBUSTÃO EXTERNA, no qual o fluido de trabalho está completamente separado da mistura ar/combustível, sendo o calor dos produtos da combustão transferido através das paredes de um reservatório ou caldeira, e do tipo de COMBUSTÃO INTERNA, no qual o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão da mistura de ar/combustível propriamente.

Uma vantagem fundamental do motor alternativo de combustão interna, sobre as instalações de potência de outros tipos, consiste na ausência de trocadores de calor no circuito do fluido de trabalho, tal como a caldeira e condensador de uma instalação a vapor. A ausência dessas peças não apenas conduz à simplificação mecânica mas, também, elimina a perda inerente ao processo de transmissão de calor através de um trocador de área finita.

O motor alternativo de combustão interna possui outra vantagem fundamental importante sobre a instalação a vapor ou turbina a gás, a saber: todas as peças podem trabalhar a temperaturas bem abaixo da máxima temperatura cíclica. Este detalhe possibilita o uso de temperaturas cíclicas bastante altas e torna possível alta eficiência.

VANTAGENS PARA O MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA ALTERNATIVO SOBRE INSTALAÇÕES DE TURBINAS DE VAPOR:

1. Maior eficiência máxima;
2. Menor razão de peso e volume da instalação para a potência máxima (exceto, possivelmente, no caso de unidades maiores do que 7353 kW ou 10.000 c.v.);
3. Maior simplicidade mecânica;
4. O sistema de refrigeração de um motor de combustão interna transfere uma quantidade de calor muito menor do que o condensador de uma instalação a vapor de igual potência e, normalmente, é operada com temperaturas mais elevadas na superfície. O menor tamanho do trocador de calor é uma vantagem nos veículos de transporte e em outras aplicações, nas quais o resfriamento deve ser feito por meio de ar atmosférico.

VANTAGENS PRÁTICAS DA INSTALAÇÃO A VAPOR SOBRE O MOTOR ALTERNATIVO DE COMBUSTÃO INTERNA:

1. A instalação a vapor pode usar maior variedade de combustíveis, incluindo os sólidos;
2. Menos suscetíveis a vibrar;
3. A turbina a vapor é prática nas unidades de grande potência (de 147000 kW ou mais) em um único eixo.

UNIDADES FUNDAMENTAIS

A escolha das chamadas unidades fundamentais não passa de uma conveniência. Em vários campos da ciência pura, elas são em número de três: comprimento (L), tempo (t), e uma das duas, força (F) ou massa (M). Nas leis de Newton, Joule, etc., todas as demais quantidades podem ser definidas em termos de umas das três unidades acima.

DESIGNAÇÃO	UNIDADES	SÍMBOLOS	VALORES	UN. ANTIGAS
MASSA	quilograma grama tonelada	kg g t	1 kg 0.001 kg 1000 kg	idem
VOLUME	metro cúbico litro	m ³	1 m ³ 0.001 m ³	idem
TEMPO	segundo minuto hora dia	s min h d	1 s 60 s 3600 s 86400 s	idem
VELOCIDADE	metros por segundo quilômetros por hora	m/s km/h	1 m/s 1/3.6 m/s	idem $\frac{\text{km/h}}{3.6} = \text{m/s}$
FORÇA	newton	N	1 kg.1 m/s ²	1 kgf = 10 N
TRABALHO	joule watt-hora	J Wh	1 N.1m 3600 J	1 kgm = 10 J
POTÊNCIA	watt quillowatt	W kW	1 J/s 1000 W	1 kgm/s = 10W
PRESSÃO	pascal bar hectobar	Pa bar	1 N/m ² 100000 Pa 100 bar	1 kg/cm ² = 1 bar 1 bar = 10 N/cm ² 1 bar = 1 atm.
CALOR	joule caloria termia	J cal th	1 J 4.185 J 4185000 J	idem idem 1 kcal = 4185 J
TEMPERATURA	grau Kelvin	K	K ou zero absoluto	0° C = 273 K

DEFINIÇÕES 1

TIPOS BÁSICOS DE MOTORES ALTERNATIVOS:

MOTORES DE IGNIÇÃO POR CENTELHA: Um motor no qual a ignição é ordinariamente provocada por centelha elétrica (motores de ciclo Otto).

MOTORES DE IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO: Um motor no qual a ignição tem lugar ordinariamente sem a necessidade de uma centelha elétrica ou superfície aquecida. A combustão se dá por compressão (motores de ciclo Diesel).

MOTORES CARBURADOS: Um motor no qual o combustível é combinado com o ar antes de fechar a válvula de admissão. Os motores com injeção de combustível nas janelas de admissão são motores carburados.

MOTORES COM CARBURAÇÃO: Um motor com carburação no qual o combustível é combinado com o ar por meio de um carburador.

MOTORES COM INJEÇÃO: Um motor no qual o combustível é injetado no cilindro após fechada a válvula de admissão.

TURBINAS A GÁS: Turbina do tipo de combustão interna, isto é, uma em que os produtos da combustão passam através dos expansores e palhetas da turbina.

DEFINIÇÕES 2

PONTO MORTO SUPERIOR: (PMS) Posição extrema do pistão na parte superior do cilindro.

PONTO MORTO INFERIOR: (PMI) Posição extrema do pistão na parte inferior do cilindro.

CURSO DO ÊMBOLO: (c) É a distância entre o PMS e o PMI.

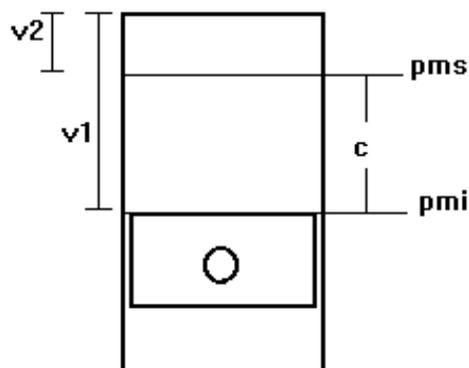
TEMPO MOTOR: É o deslocamento do êmbolo do PMS ao PMI decorrente da explosão e expansão dos gases na combustão.

TAXA DE COMPRESSÃO: É a relação volumétrica no cilindro antes e depois da compressão.

$$\Gamma = V1/V2$$

CILINDRADA: Um motor é caracterizado pelas cotas internas de seus cilindros e pelo curso dos pistões, isto é, pelo volume entre o PMS e o PMI. A cilindrada total de um motor é obtida pelo produto da cilindrada unitária pelo número de cilindros do motor. É medido em centímetros cúbicos.

$$\text{cilindrada} = \frac{\pi d^2 c}{4}$$



CICLO OPERATIVO

É a sucessão de operações termodinâmicas que o fluido executa no interior do motor e repete com periodicidade.

CICLO OPERATIVO OTTO 4 TEMPOS

O ciclo principia no PMS do pistão; compreende quatro cursos sucessivos necessitando de duas rotações do virabrequim. A entrada e saída dos gases são comandadas pelas válvulas.

1º TEMPO. ADMISSÃO. Acionado pela biela e pelo virabrequim, o pistão afasta-se do cabeçote e cria uma depressão provocando a aspiração de uma certa quantidade de mistura A/C. Esta mistura A/C penetra no cilindro graças à válvula de admissão que durante todo o curso do pistão se mantém aberta.

2º TEMPO. COMPRESSÃO. Partindo do PMI o pistão sobe até o PMS. Ao iniciar este movimento, a válvula de admissão se fecha e os gases no cilindro sofrem então uma forte compressão.

No final do 2º TEMPO, o virabrequim efetuou uma rotação completa; o pistão encontra-se novamente no PMS. As válvulas são hermeticamente fechadas e os gases ficam comprimidos num determinado espaço a que se chama câmara de compressão ou câmara de explosão.

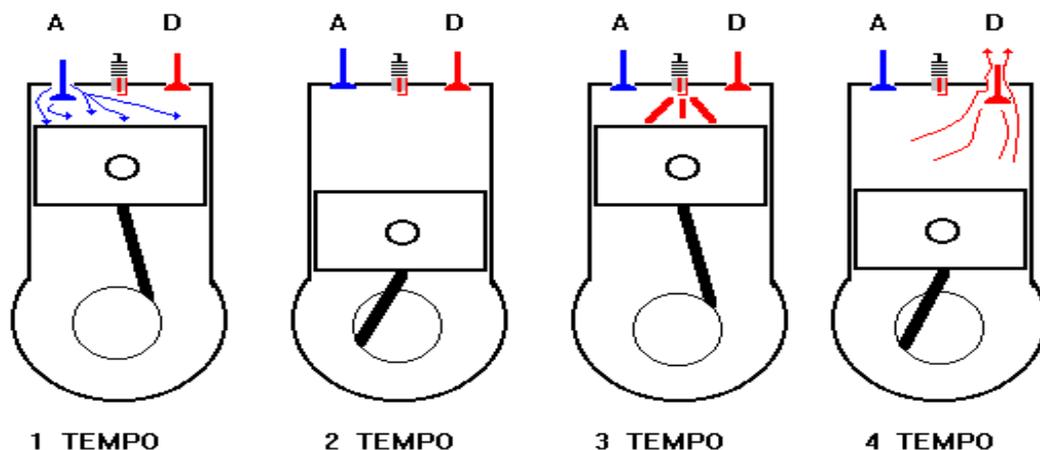
3º TEMPO. EXPLOSÃO. A inflamação da mistura A/C na câmara de compressão efetua-se no final do 2º TEMPO, alguns instantes antes do pistão ter atingido o PMS. A inflamação de toda a massa de gás provoca uma considerável elevação da temperatura, o que vai dar origem a um grande aumento de pressão. Esta pressão comprime violentamente o pistão do PMS ao PMI, transmitindo deste modo ao virabrequim uma força motriz favorável à rotação. É o tempo motor.

4º TEMPO. DESCARGA. A poucos instantes antes do pistão atingir o PMI no final do 3º TEMPO, a válvula de descarga começa a abrir-se e os gases queimados podem escapar para o exterior do motor. A expulsão completa realiza-se durante todo o espaço de tempo em que o pistão faz o seu retorno ao PMS. Neste momento a válvula de descarga fecha-se, e a de admissão abre-se e logo em seguida começa um novo ciclo.

O ciclo 4 tempos tem as seguintes particularidades;

Exige duas rotações do virabrequim (720°) e só fornece uma força motriz ao 3º TEMPO, pelo que há necessidade de acionar o motor por meio de uma força exterior.

O 1º, 2º, e 3º TEMPOS absorvem energia mecânica, o que obriga o emprego de um volante ligado ao virabrequim.



CICLO OPERATIVO A 2 TEMPOS

O ciclo a 2 tempos principia no PMI. Necessita de uma rotação do virabrequim e permite obter uma explosão cada vez que o pistão atinge o PMS. Os gases são previamente comprimidos, quer no cárter do motor, quer pelo pistão especial ou pelo compressor. A entrada e a saída dos gases efetuam-se por canais que desembocam nas paredes do cilindro e são abertos pelo pistão no seu PMI. Alguns tipos de motores são munidos de válvulas de escape comandadas por cames.

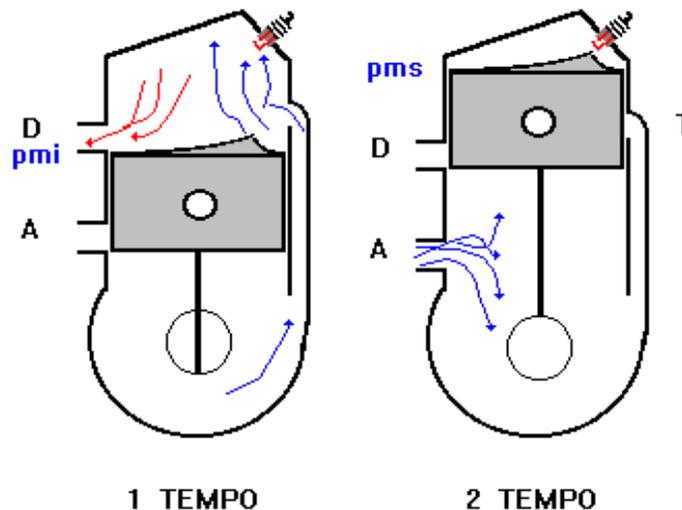
1º TEMPO. Quando o pistão está no PMI, os canais são abertos e os gases queimados escapam do cilindro enquanto os novos gases entram no cilindro sob pressão pelo canal de transvasamento. Estes novos gases são dirigidos ao cabeçote a fim de evitar que se misturem com os gases queimados e que saiam prematuramente.

Quando o pistão se desloca do PMI ao PMS, fecha primeiro o canal de transvasamento, depois o canal de descarga comprime a nova carga de gás.

2º TEMPO. No final da compressão, os gases são inflamados e a alta pressão obtida comprime o pistão para o ponto morto oposto; é o tempo motor. Instantes antes de atingir o PMI, o pistão abre primeiramente o canal de descarga e em seguida o de transvasamento. Os gases queimados escapam do cilindro enquanto que uma nova carga de mistura penetra nele. Começa um novo ciclo.

O ciclo 2 tempos tem as seguintes particularidades;

Este ciclo efetua-se sobre uma rotação do virabrequim (360°) e fornece uma força motriz ao 2º TEMPO. Portanto, o motor deve ser acionado por meio de uma força exterior.



CICLO OPERATIVO DIESEL 4 TEMPOS

O ciclo operativo DIESEL 4 tempos inicia com o pistão no PMS e descreve as seguintes etapas:

1º TEMPO. ADMISSÃO. O ciclo DIESEL caracteriza-se por admitir no 1º TEMPO unicamente AR.

2º TEMPO. COMPRESSÃO. O pistão que encontra-se agora no PMI, desloca-se para o PMS comprimindo a massa de ar, fazendo com que este atinja elevada pressão e temperatura. Instantes antes do pistão atingir o PMS é injetado o combustível. As válvulas encontram-se hermeticamente fechadas.

3º TEMPO. EXPLOSÃO. O combustível inflama em contato com o ar fortemente aquecido. Neste instante o pistão, que se encontra no PMS, é impulsionado em direção ao PMI. É o tempo motor.

4º TEMPO. DESCARGA. O pistão encontra-se no PMI, a válvula de descarga aberta permite o escape dos gases queimados.

OBS.: O combustível é injetado no cilindro através de uma bomba injetora, calibrada com uma pressão superior a encontrada no interior da câmara de compressão.

OUTRAS CLASSIFICAÇÕES:

Pode-se classificar os motores de combustão interna segundo os vários sistemas que os compõem, por exemplo:

- ADMISSÃO DE COMBUSTÍVEL
 - .. Motores com carburação (Otto)
 - .. Motores com injeção (Diesel, Otto)

- REFRIGERAÇÃO
 - .. Ar (natural ou forçada)
 - .. Água (termo-sifão, forçada)

- IGNIÇÃO
 - .. Magneto
 - .. Bateria

- DISPOSIÇÃO DOS CILINDROS
 - .. em linha
 - .. em V
 - .. radiais
 - .. horizontais (opostos, contrapostos)
 - .. em H

- DISPOSIÇÃO DAS VÁLVULAS
 - .. em I, L, T, F

- DISPOSIÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS
 - .. no bloco
 - .. no cabeçote (OHC, DOHC)

COMPARAÇÃO ENTRE MOTOR OTTO E MOTOR DIESEL

	MOTOR OTTO	MOTOR DIESEL
ADMISSÃO DE COMBUSTÍVEL	CARBURAÇÃO INJEÇÃO	INJEÇÃO
ALTERAÇÃO DA ROTAÇÃO	MISTURA A/C	COMBUSTÍVEL
IGNIÇÃO	FONTE EXTERNA	AUTO IGNIÇÃO
TAXA DE COMPRESSÃO	6 a 9 gasolina 9 a 14 álcool	14 a 22
DESPERDÍCIO DE COMBUSTÍVEL	HÁ DESPERDÍCIO (lavagem de anéis)	NÃO HÁ
TIPO DE COMBUSTÍVEL	LEVES	PESADOS

MOTORES ROTATIVO DE DESLOCAMENTO - MOTOR WANKEL

São motores nos quais um membro rotativo é disposto de forma a variar o volume de trabalho de maneira análoga ao de um compressor do tipo palheta, ou por meio de alguma espécie de movimento excêntrico de um rotor em um espaço cilíndrico (usualmente não circular).

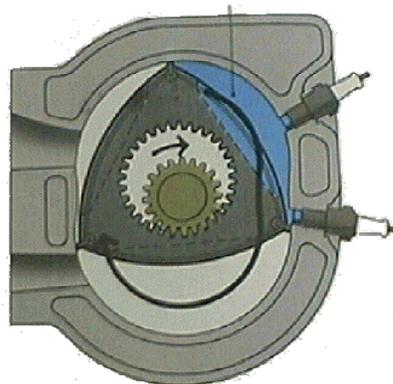
O problema mais difícil em tais motores é a selagem da câmara de combustão contra vazamento sem excessivo atrito e desgaste. Esse problema é bem mais difícil do que o de anéis de segmento convencionais, devido às seguintes razões:

1. "contato de linha" em lugar de contato de superfície;
2. as superfícies a selar são descontínuas, com arestas vivas;
3. a velocidade do selo é elevada durante parte do ciclo de alta pressão, em contraste com anéis de segmento, cuja velocidade é próxima de zero na máxima pressão do cilindro.

O motor WANKEL é um motor deste tipo. Ele ainda se encontra sob intenso desenvolvimento. Embora se diga que o problema de selagem esteja resolvido, não parece razoável aceitar que a solução seja tão satisfatória quanto a do moderno anel de segmento.

Em geral, o objetivo dos projetos de motores rotativos de deslocamento foi de evitar vibração, redução de tamanho, peso e redução de custo em comparação com os tipos convencionais.

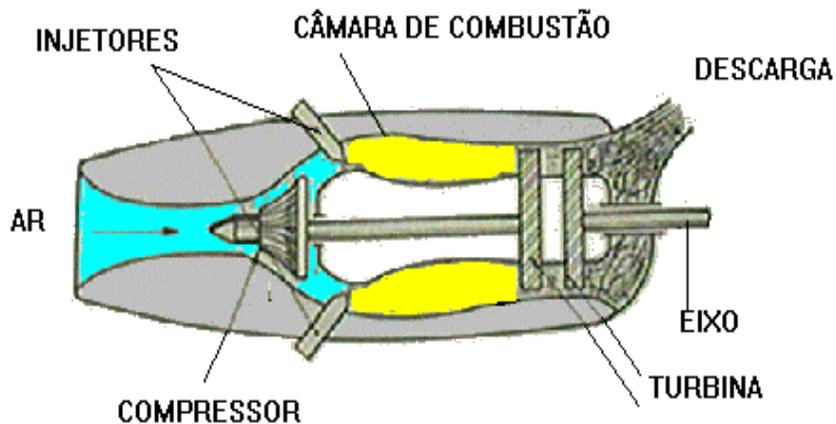
A única vantagem básica desse tipo de motor está no fato de ser alta a relação volume de deslocamento para volume total do motor, obtendo-se assim, maiores potências.



TURBINAS A GÁS

O conceito de turbina a gás é antigo, mas ele não se concretizou como fonte prática de potência até após a II. Guerra Mundial. Seu desenvolvimento comercial foi estimulado pela introdução bem sucedida dos motores turbojatos em aviões ingleses e alemães, próximo ao final da guerra.

Na maior parte das realizações atuais, o conjunto é formado por várias câmaras de combustão (de 2 a 6), possuindo cada uma delas de seu injetor. Esta disposição assegura uma melhor utilização do combustível e permite maior flexibilidade de funcionamento.



CAPÍTULO 2 - CICLOS DE AR/COMBUSTÍVEL

Um ciclo de A/C é definido aqui como um processo termodinâmico idealizado, assemelhando-se ao que ocorre em algum tipo particular de motor usando como meio de trabalho gases reais semelhantes aos utilizados no motor correspondente.

Como os ciclos de A/C envolvem combustão, um processo irreversível, o meio jamais poderá retornar a seu estado original e, desta forma, o processo não é cíclico no sentido termodinâmico. Para este tipo de processo e para o processo real nos motores, o termo ciclo é usado com referência a um componente completo de um processo repetitivo.

O trabalho executado em um ciclo de A/C pode ser medido, e a definição de eficiência pode ser tratada da mesma forma que para um motor, isto é, pela escolha de um valor térmico para o combustível consumido.

DEFINIÇÕES 1

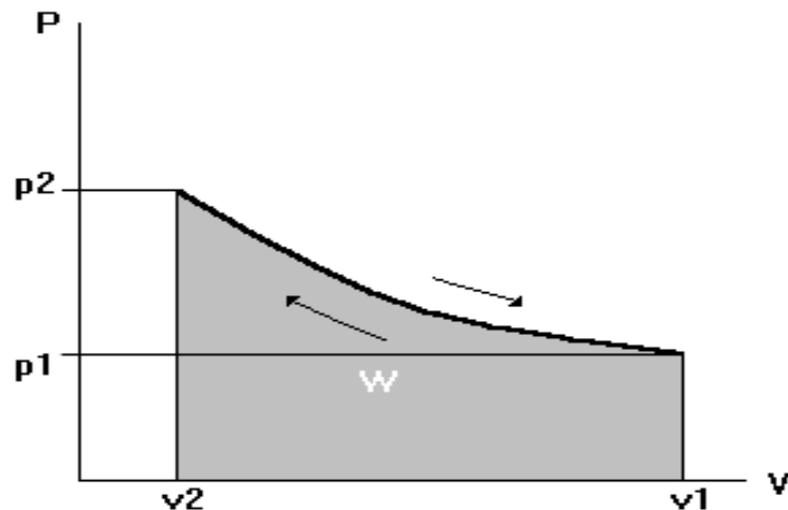
ESTADO TERMODINÂMICO. É o estado caracterizado pelas seguintes grandezas (propriedades de uma substância): temperatura, pressão, volume, entalpia e entropia.

TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS. Alterações das grandezas termodinâmicas.

SISTEMA SEM FLUXO. O fluido é confinado dentro do sistema, sofrendo todas as transformações termodinâmicas necessárias para após ser liberado ao meio externo (motores OTTO, DIESEL, WANKEL, TURBINAS A GÁS,...)

SISTEMA DE FLUXO CONTÍNUO. O fluido passa pelo interior do sistema, sofrendo todas as transformações termodinâmicas de forma contínua (TURBO-REATOR).

DIAGRAMA P×V, E A REPRESENTAÇÃO DO TRABALHO



CICLO TÉRMICO. Se tomarmos um fluido qualquer e forçá-lo, a custo de energia, a variar o seu estado termodinâmico, e ao fim destas transformações o tivermos reconduzido ao estado inicial, a sucessão de estados termodinâmicos pelos quais passou o fluido se constitui um CICLO TÉRMICO.

DEFINIÇÕES 2

MOTORES ALTERNATIVOS

AR FRESCO. O ar novo suprido ao cilindro para cada ciclo.

COMBUSTÍVEL FRESCO. O combustível novo suprido em cada ciclo.

MISTURA FRESCA. O ar fresco mais o combustível fresco supridos em cada ciclo de um motor carburado, ou o ar fresco no caso de um motor Diesel e outros motores de injeção.

RAZÃO A/C,(F). A razão entre as massas de combustível fresco e ar fresco.

RAZÃO A/C RELATIVA, (Fr). A razão A/C dividida pela razão estequiométrica.

RAZÃO DE AR RESIDUAL, (f). A razão entre a massa dos gases deixados no cilindro pelo ciclo anterior, após fechada todas as válvulas, e a massa de carga.

CARGA. O conteúdo total do cilindro em qualquer ponto especificado no ciclo.

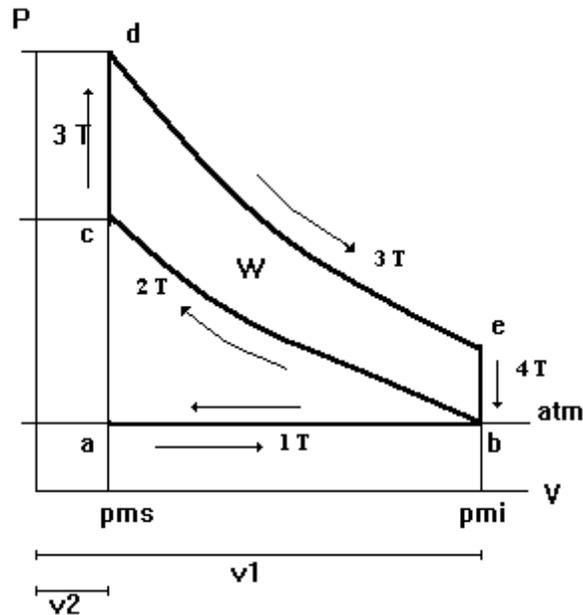
PREMISSAS (ciclos teóricos)

As premissas usadas comumente para todos os ciclos de A/C são as seguintes:

1. Não há mudança química no combustível ou no ar, antes da combustão.
2. Após a combustão, a carga está sempre em equilíbrio químico.
3. Todos os processos são adiabáticos, isto é, não há fluxo de calor através das paredes do recipiente.
4. Nos motores alternativos as velocidades são desprezíveis.

**CICLO DE A/C A VOLUME CONSTANTE, USANDO MISTURA COM CARBURAÇÃO
 (CICLO OTTO)**

Este ciclo é tomado como representativo do processo ideal para os motores carburados e ignição por centelha. Consiste nos seguintes processos.



TEMPO	VÁLVULAS		VARIACIONES DE PRESSÃO	PROCESSO
	A	D		
ADMISSÃO	A	F	Pressão cte. igual a pressão atmosférica	a - b
COMPRESSÃO	F	F	A pressão aumenta de forma progressiva até o PMS, adiabaticamente	b - c
EXPLOSÃO	F	F	Explosão a volume constante (supostamente instantânea)	c - d
EXPANSÃO	F	F	A pressão diminui de forma progressiva até o PMI, adiabaticamente	d - e
DESCARGA	F	A	A pressão diminui de forma brusca a volume constante (supostamente instantânea)	e - b
	F	A	A pressão se iguala a patm.	b - a

RENDIMENTO. O rendimento pode ser calculado considerando-se a quantidade de calor introduzido (Q1) e a quantidade de calor retirado (Q2) do sistema.

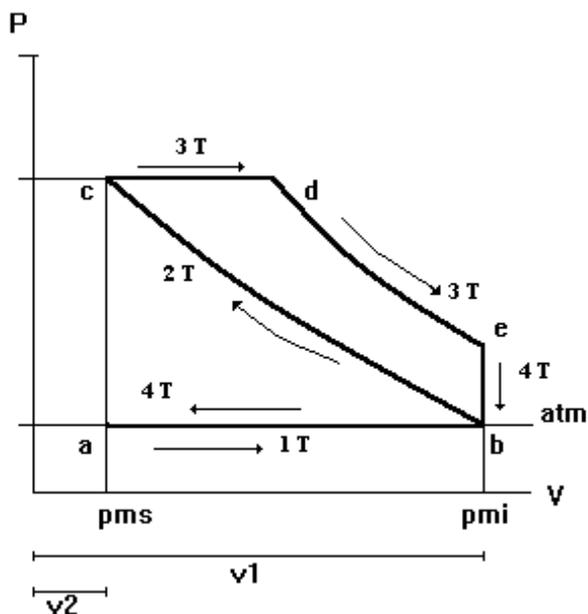
$$\eta = \frac{Q1 - Q2}{Q1}$$

CARACTERÍSTICAS DOS CICLOS A/C A VOLUME CONSTANTE

1. A eficiência é pouco afetada pelas variáveis que não a razão de compressão e a razão A/C;
2. Quando a razão A/C é a variável, a eficiência decresce com o aumento da razão A/C. Essa relação é facilmente explicada uma vez que o aumento da razão A/C eleva as temperaturas após a combustão.

CICLO DE A/C DE PRESSÃO LIMITADA MOTORES DIESEL

Os ciclos com um limite arbitrário no pico de pressão são de interesse, principalmente em conexão com os motores Diesel, nos quais as características e controle da injeção são arranjadas de forma a limitar a pressão máxima em um valor arbitrário.



TEMPO	VÁLVULAS		VARIÁÇÕES DE PRESSÃO	PROCESSO
	A	D		
ADMISSÃO	A	F	Pressão cte. igual a pressão atmosférica	a - b
COMPRESSÃO	F	F	A pressão aumenta de forma progressiva até o PMS, adiabaticamente	b - c
INJEÇÃO	F	F	Injeção a pressão constante (supostamente instantânea)	c - d
EXPLOÇÃO e EXPANSÃO	F	F	A pressão diminui de forma progressiva até o PMI, adiabaticamente	d - e
DESCARGA	F	A	A pressão diminui de forma brusca a volume constante (supostamente instantânea)	e - b
	F	A	A pressão se iguala a patm.	b - a

CARACTERÍSTICAS DOS CICLOS DE A/C DE PRESSÃO LIMITADA

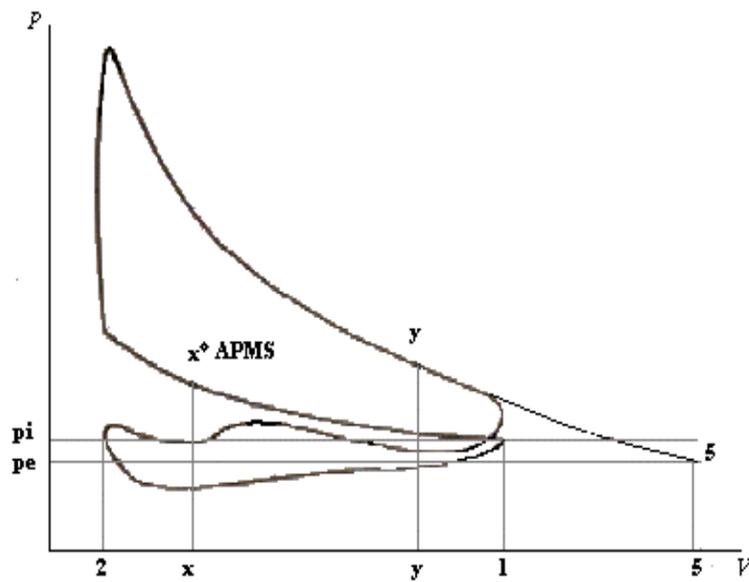
A seguinte relação é de interesse geral;

1. Melhora na eficiência com aumento na relação de pressão p_c/p_a . Quanto maior for esta relação, maior é a fração de combustível queimado na câmara de combustão.

CICLOS EQUIVALENTES DE A/C

Um ciclo de A/C, com a mesma composição e densidade de carga que um ciclo atual, é chamado de ciclo equivalente de A/C. Tais ciclos são de especial interesse, porque tornam mínimas as diferenças resultantes do fato de que os processos de admissão e descarga de um motor real não são os mesmos que os propostos para processos ideais de admissão e descarga.

CICLO EQUIVALENTE A/C PARA MOTORES OTTO



Pela análise comparativa entre o ciclo de A/C a volume constante (ciclo teórico) e o ciclo equivalente de A/C (ciclo indicado) é possível constatar algumas diferenças fundamentais que são motivadas pelas seguintes razões:

1. Trocas térmicas com o meio externo.
2. A combustão não se dá de maneira instantânea.
3. O trabalho de descarga não se dá de forma instantânea.
4. O trabalho de bombeamento, isto é, o trabalho gasto para admitir e descarregar os fluidos no motor.

TERMODINÂMICA DA COMBUSTÃO

O conhecimento sobre os processos químicos que ocorrem durante a combustão é bastante limitado. Atribui-se a isso o fato de que tais processos normalmente ocorrem com grande rapidez e a temperaturas bastante elevadas.

No tratamento termodinâmico do processo de combustão, apenas os estados finais são considerados. Para estabelecer o estado final, partindo de um estado inicial, usamos as leis da conservação de energia e massa, mais a premissa de equilíbrio completo após a combustão.

CALOR DA COMBUSTÃO. Esta quantidade é obtida através de experiências calorimétricas.

De forma rápida, o calor da combustão é medido pela queima de uma massa conhecida com excesso de oxigênio, em um recipiente a volume constante, chamado bomba calorimétrica.

Para determinar o calor da combustão, a seguinte quantidade é calculada:

$$Q_{ch} = 1/M_f \{ Q_e + V/J (p_2 - p_1) \}$$

Onde: Q_{ch} = maior calor da combustão
 M_f = massa de combustível usada
 Q_e = energia interna da mistura combustível/oxigênio
 V = volume do recipiente
 J = coeficiente da lei de Joule (426,9 kgf.m/kcal)
 p_2 = pressão após a combustão
 p_1 = pressão antes da combustão

Outra quantidade, conhecida como o menor calor da combustão do combustível, é calculada da seguinte forma:

$$Q_c = Q_{ch} + M_v H_v / M_f$$

Onde: Q_c = menor calor da combustão
 M_v = massa de vapor de água
 H_v = entalpia da unidade de massa de água

Usualmente, Q_c é usado como base para o cálculo da eficiência térmica dos motores.

ENERGIA DA COMBUSTÃO. Pode-se defini-la como a energia interna do combustível gasoso não queimado a 311°K. Entretanto, de maneira experimental, é difícil de executar tal prova, porque muitos combustíveis, e também a água, normalmente são líquidos a 311°K. Porém, E_c pode ser calculada pela experiência da bomba calorimétrica, usando-se a seguinte relação:

$$E_c = 1/M_f (Q_c + M_v E_v) - E_{lg}$$

Onde: M_f = massa de combustível
 M_v = massa de água nos produtos
 E_v = energia interna da unidade de massa de água líquida acima da referência para o vapor de água na temperatura da experiência
 E_{lg} = energia interna da unidade de massa do combustível líquido, acima da referência para o combustível gasoso na temperatura da experiência. Se o combustível for gasoso, essa quantidade é tomada como zero.

REGULADORES

MOTORES OTTO A CARGA PLENA E CARGA PARCIAL

	CARGA PLENA	CARGA PARCIAL
DEPRESSÃO NA ADMISSÃO	MAIOR	MENOR
PESO DE FLUIDO	MAIOR	MENOR
PRESSÃO NA COMBUSTÃO	MAIOR	MAIOR
POTÊNCIA DESENVOLVIDA	MAIOR	MENOR

DEPRESSÃO. O ar é aspirado para uma passagem que se estreita, formada por dois troncos de cone e designada por difusor, cone de ar, ou de Venturi, ou apenas venturi, a qual aumenta a velocidade do ar e lhe diminui a pressão (efeito venturi). A depressão, é uma espécie de vácuo parcial provocado pelo fluxo ou corrente de ar no difusor.

x° APMS (x° Adiantado do Ponto Morto Superior). Este adianto é necessário porque quando o pistão o PMS no final do tempo de compressão, a inflamação já deve estar completa, para que o rendimento seja máximo.

AVANÇO E ATRASO DO PONTO DE IGNIÇÃO.

ADIANTADO. Aumento de pressão antes do momento adequado, logo maior consumo de trabalho na compressão, e menor potência desenvolvida.

ATRASADO. Máximo da combustão com o pistão afastado demais do PMS, logo menor pressão, menor potência desenvolvida.

MOTORES DIESEL LENTOS E RÁPIDOS

	RÁPIDOS	LENTOS
AVANÇO DA INJEÇÃO	MAIOR ENCHIMENTO	MENOR
PRESSÃO	MAIOR	MENOR
TIPO DE CÂMARA DE COMBUSTÃO	COMPLEXAS	SIMPLES
CONSUMO	MAIOR	MENOR

TEMPO DE ABERTURA E FECHAMENTO DE VÁLVULAS

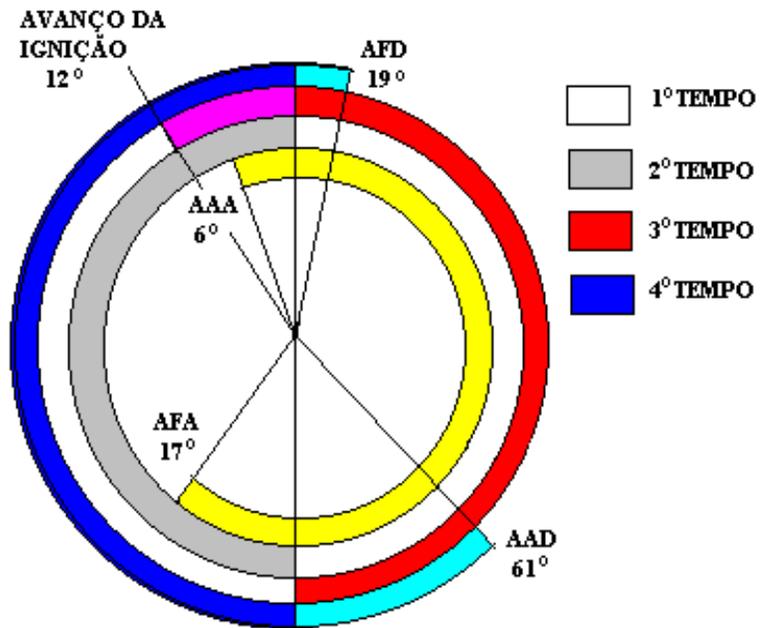
CRUZAMENTO DE VÁLVULAS. É o espaço de tempo medido em graus do virabrequim, que tanto a válvula de admissão como a válvula de descarga estão abertas simultaneamente.

ATRASO NO FECHAMENTO DA VÁLVULA DE DESCARGA, AVANÇO NA ABERTURA DA VÁLVULA DE ADMISSÃO. O fluido admitido força os gases de descarga a saírem, acarretando maior eliminação dos gases queimados. Maior enchimento, maior potência. Melhora a refrigeração da válvula de descarga.

ATRASO NO FECHAMENTO DA ADMISSÃO. Maior quantidade de fluido é admitido devido a inércia. Conseqüentemente maior potência desenvolvida.

ÂNGULO DE PERMANÊNCIA. Tempo medido em graus do virabrequim que uma válvula permanece aberta durante todo o ciclo.

DIAGRAMA CIRCULAR. Relaciona os tempos de abertura e fechamento de válvulas.



CRUZAMENTO DE VÁLVULAS = 25°
ÂNGULO DE PERMANÊNCIA DA ADMISSÃO = 203°
ÂNGULO DE PERMANÊNCIA DA DESCARGA = 258°

CAPÍTULO 3 - COMBUSTÍVEIS e COMBURENTE

Os motores de combustão interna podem ser operados com vários tipos diferentes de combustíveis, incluindo materiais líquidos, gasosos e mesmo sólidos. O caráter do combustível usado pode ter considerável influência sobre o projeto, potência, eficiência, consumo e, em muitos casos, confiabilidade e durabilidade do motor.

COMBUSTÍVEIS DE PETRÓLEO

Pode-se dizer que 99% dos motores de combustão interna utilizam combustíveis líquidos derivados do petróleo. Em alguns casos são produzidos combustíveis de composição características muito análogas por meio da hidrogenização do carvão.

ÓLEO CRU. É o termo usado para petróleo bruto, como sai do poço. Consiste principalmente uma mistura de vários tipos de hidrocarbonetos de pesos moleculares diferentes, além de uma parcela usualmente pequena, de componentes orgânicos contendo enxofre, nitrogênio, etc..

A composição exata do óleo cru difere bastante, dependendo de sua fonte. Em geral são consideradas três classes: os petróleos de base parafínica, base de nafta ou base mista.

O refino do óleo cru normalmente começa com a destilação à pressão atmosférica, durante o qual o produto é separado em várias frações, de acordo com a volatilidade. Os destilados resultantes são chamados produtos diretos. A seguir podem ser submetidos a tratamentos térmicos e químicos a várias pressões e temperaturas. Tais tratamentos são definidos como fracionamento, quando sua tendência principal é a redução do tamanho molecular médio, e como polimerização, quando predomina o inverso.

Os produtos resultantes do refino do petróleo são classificados por sua utilização e também por seu peso específico e sua volatilidade, conforme determinado pela destilação à pressão atmosférica ao nível do mar. Os produtos de interesse são: gás natural, gasolina, querosene, destilado (semelhante a querosene), óleos diesel, óleos combustíveis (apropriados para queimadores contínuos), óleos lubrificantes.

COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES DE IGNIÇÃO POR CENTELHA

Quanto ao desempenho do motor de ignição por centelha, as seguintes características do combustível são importantes: volatilidade; características de detonação e pré-ignição; calor de combustão por unidade de massa e volume; calor latente de vaporização; estabilidade química, neutralidade e limpeza; segurança.

VOLATILIDADE. É a tendência de um líquido a evaporar-se. Essa qualidade é de importância básica nos motores carburados, devido a sua influência na razão vapor-ar nos cilindros no instante da admissão.

Nos motores que queimam uma mistura uniforme de A/C, a razão vapor-ar não deve ser inferior a cerca de 0.5 vezes a estequiométrica para ignição satisfatória e propagação da chama. Dessa forma, é obvio que a volatilidade do combustível deve ser suficiente para dar pelo menos essa razão vapor-ar no instante da ignição em todas as condições de operação, incluindo a partida e aquecimento de um motor frio.

A volatilidade afeta o desempenho do motor através de sua influência sobre o grau de evaporação do combustível nos coletores de admissão e nos cilindros, antes e durante a combustão. A operação será satisfatória somente se os diversos cilindros receberem uma mistura com a mesma razão A/C e se quase todo o combustível evapora-se antes da ignição.

DETONAÇÃO. Explosão da mistura por efeito da pressão. A resistência à detonação de um combustível consiste em uma característica extremamente importante se for usado em motores de ignição por centelha. A propriedade anti-detonante de um combustível aparentemente depende de suas características de ignição por meio de compressão, e estas variam muito com a composição química.

Os efeitos da detonação são nocivas para o motor. Repetidas detonações provocarão superaquecimento e a perfuração da cabeça dos êmbolos.

O poder anti-detonante é a resistência que um combustível apresenta à detonação.

ESPECIFICAÇÃO DE DETONAÇÃO (OCTANAGEM)

É reconhecida a necessidade de requisitos básicos para o estabelecimento de uma escala comparativa da tendência a detonação:

- . um motor padronizado CFR (Cooperative Fuel Research - de um cilindro de taxa de compressão variável);
- . um conjunto de condições-padrão de operação;
- . um método-padrão de medida da intensidade de detonação (indicador de detonação ASTM);
- . um par de combustíveis-padrão de referência.

Os dois combustíveis-padrão de referência são a isoctana (pouco detonante) e a heptana normal (muito detonante).

ÍNDICE DE OCTANA. Representação numérica do poder anti-detonante de um combustível. O método de ensaio consiste em operar com uma mistura de referência (isoctana mais heptana) e com o combustível a ser testado nas condições-padrão e ajustar a razão de compressão, para fornecer uma intensidade-padrão de batida. A proporção de isoctana na mistura de referência, dando as mesmas características de detonação do combustível utilizado, é indicada como índice de octana.

Dois conjuntos de condições de operação, chamados de método-motor (MON - motor octane number) e método de pesquisa (RON - reaserch octane number), são utilizados atualmente. As condições são:

FATOR	MÉTODO-MOTOR	MÉTODO DE PESQUISA
TEMPERATURA DE ADMISSÃO	423 °K (150 °C)	325 °K (52 °C)
TEMPERATURA DO CILINDRO	373 °K (100 °C)	373 °K (100 °C)
VELOCIDADE	900 rpm	600 rpm
UMIDADE	0.0036	0.0036
MASSA/MASSA DE AR SECO	0.0072	0.0072

Segundo o método de pesquisa a mistura passa pela admissão sem nenhuma preparação especial. Mantém-se, assim, as condições normais de funcionamento de um motor "em estrada". Já o método-motor a mistura é pré-aquecida aumentando a sensibilidade da mistura à detonação e permite uma maior precisão na medida. Os resultados são diferentes segundo o método utilizado. O índice de octana obtido pelo método de pesquisa é superior em 10 unidades o método-motor.

A seguinte tabela relaciona várias composições da mistura de referência com a taxa de compressão:

ISOCTANA C ₈ H ₁₈	HEPTANA C ₇ H ₁₆	OCTANAGEM	TAXA DE COMPRESSÃO
1	99	1	1.1:1
49	51	49	5:1
80	20	80	7.5:1
99	1	99	13:1
100		100	13.5:1

ADITIVOS ANTI-DETONANTES

As deficiências no número de octanas de uma gasolina refinada para determinado serviço, podem ser contornadas pela adição de agentes anti-detonantes.

Alguns componentes químicos que sabidamente têm efeito sobre a detonação destacam-se:

- . chumbo tetra-etila
- . álcool
- . MTBE - metil-tércio-butil-éter

O primeiro é um produto químico anti-detonante, mas não carburante. É misturado à gasolina na proporção de até 1 ml/l. Contudo seu emprego é bastante perigoso dado ao escape de emanações de descarga tóxicas.

A utilização de álcool (AEAC - álcool etílico anidro combustível) foi a principal opção para a eliminação do chumbo tetra-etila no Brasil. A mistura do álcool na gasolina se dá usualmente na proporção de 20% a 30% de volume. Para cada 10% de álcool adicionada à gasolina tem-se um incremento de 1 octana na mistura final.

Obs.: AEAC - 99.3° INPM (teor alcóolico)

A utilização do MTBE tem-se caracterizado como uma opção vantajosa em relação ao chumbo tetra-etila, pois não causa impacto ambiental significativo, e não diminui o poder calorífico da mistura, ao contrário do álcool. É utilizado nos EUA, e é o aditivo anti-detonante padronizado pela CEE (Comunidade Econômica Européia). É utilizado em algumas regiões do Brasil, especificamente no Rio Grande do Sul. A adição à gasolina se dá na proporção máxima de 15%.

	GASOLINA - A	GASOLINA - B	GASOLINA - C	OUTRA S
AEAC			18% min 22% máx	
MTBE				10%
CHUMBO TETRA-ETILA	0.8 ml/m máx	0.8 ml/m máx		
OCTANAGEM	80	82	80	80

ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO COMBUSTÍVEL - AEHC

O primeiro motor de combustão interna, patenteado em 1861 pelo alemão Nikolaus August Otto (1832-1891), origem de todos os ciclos atuais de gasolina e a álcool, teoricamente representado pelo ciclo termodinâmico que leva o seu nome, já funcionava desde o início, a álcool, adequado na época porque era muito mais barato que o petróleo (o petróleo então era muito pouco

extraído, tendo pouca aplicação industrial), e de obtenção mais fácil. Isto perdurou até a I Guerra. Durante a II Guerra o Brasil chegou a misturar até 50% de álcool na gasolina.

Com a crise do petróleo iniciada em 1973, o Brasil buscou alternativas que pudessem libertá-lo da dependência do petróleo importado. Foi, então, em 1975 instituído o PROALCOOL - Programa Nacional do Álcool. As razões motivadoras foram:

- . grande produção de cana-de-açúcar
- . economia de divisas
- . distribuição de renda
- . crescimento da indústria nacional
- . fixação do homem no campo
- . geração de empregos

TIPOS DE ÁLCOOL COMBUSTÍVEL

Etanol C_2H_5-OH

O álcool foi escolhido como meio-termo ideal entre produção, comercialização e consumo: é líquido, seguro, não tóxico (em pequenas concentrações), pouco poluente, renovável, fácil transporte. A grande extensão territorial do Brasil e a boa insolação desse território permite a produção fácil e abundante.

O álcool etílico tem desvantagens em relação a gasolina, por exemplo o baixo poder calorífico, o que aumenta o seu consumo, porém devido a sua octanagem bastante alta permite a sua utilização em motores com taxa de compressão elevada, o que se traduz em aumento de potência.

Metanol CH_4-OH

Tem praticamente as mesmas propriedades do Etanol. Produzido a partir da pirólise da madeira. Por outro lado, é tóxico, devendo ser manipulado com cuidado. É bastante utilizado em motores de combustão interna nos EUA.

No Brasil o Metanol passou a ser utilizado em situações emergenciais para garantir o suprimento de álcool, misturado na seguinte proporção:

- . 33% metanol
- . 60% etanol
- . 7% gasolina

Obs.: BENZOL - Não é álcool. É obtido a partir do carvão. É um ótimo combustível, porém extremamente tóxico.

	BENZOL	ETANOL	METANOL	GASOLINA
OCTANAGEM	100	99	98	80
PODER CALORIFICO kcal/kg	9600	6550	4500	10450

ADIÇÃO DE AEAC À GASOLINA

Os motores a gasolina podem funcionar bem até com 25% de AEAC, mas isto terá suas conseqüências, se o motor não sofrer algumas alterações mínimas para ser adaptado ao novo combustível.

DESVANTAGENS

Redução da Potência. Para 25% de AEAC, 5% a menos de potência e no torque.

Consumo. Como o álcool tem baixo poder calorífico, ao ser adicionado à gasolina, o poder calorífico da mistura cai.

Corrosão. As partes metálicas sem revestimento adequado e as borrachas serão atacadas pelo álcool.

Mistura pobre. A relação A/C diminui, necessitando nova calibragem da carburação.

Poder calorífico. A explosão terá uma expansão menor dos gases, o que significa, para uma mesma potência útil desenvolvida pelo motor, um maior consumo de combustível.

VANTAGENS

- . Aumento da potência e do torque devido a maior .
- . Menor índice de poluição.

USO EXCLUSIVO DE ÁLCOOL NO MOTOR - AEHC

São necessárias algumas alterações no projeto original de um motor à gasolina para trabalhar exclusivamente com álcool:

Taxa de compressão. Deve ser aumentada entre 9 a 14:1 devido a maior octanagem do álcool em relação a gasolina. Isto pode ser obtido rebaixando o cabeçote ou utilizando desenhos especiais na cabeça do pistão, ou ainda, utilizando pistões mais altos.

Ponto de ignição. A mistura mais rica de álcool/ar queima muito mais depressa que gasolina/ar, sendo necessário atrasar o ponto de ignição.

Velas. A temperatura da câmara será mais elevada, bem como a compressão. Será necessário a utilização de velas frias (alto índice térmico).

Carburador. A mistura correta para a máxima queima da gasolina é de 15,2 partes de ar para 1 de gasolina, no AEHC é necessário 9:1. Isto é possível através das seguintes alterações:

- . altura da bóia (9% inferior)
- . difusor
- . furo de progressão
- . calibre de marcha lenta (29% maior)
- . calibre principal de combustível (26% maior)
- . calibre principal de ar
- . vazão do afogador

Coletor de admissão. O álcool exige mais calor que a gasolina para evaporar-se (menor volatilidade). Assim é necessário dotar o coletor de um sistema de pré-aquecimento.

VANTAGENS DO USO EXCLUSIVO DE ÁLCOOL

Rendimento. A maior octanagem do álcool em relação a gasolina permite uma elevação da taxa de compressão, o que resulta num aumento do rendimento total.

Num motor a gasolina, 27% da energia fornecida são aproveitados, enquanto que no motor a álcool atinge 34%.

A potência aumenta com o aumento da taxa de compressão. Para uma mesma taxa de compressão, a potência aumenta 2% porque 5% da água de composição do álcool evaporam-se dentro do cilindro, aumentando a pressão dentro dele. Um motor a AEHC terá 24% de potência a mais que o motor a gasolina.

O torque, relacionado diretamente com a potência, será correspondentemente 24% superior.

Poluição. Emite reduzido índice de monóxido de carbono, o principal poluente atmosférico oriundo da combustão da gasolina. Em torno de 66% a menos de CO que a gasolina.

Durabilidade. A queima da gasolina se dá de 40° C a 200° C, assim, durante a combustão alguns hidrocarbonetos se tornarão líquidos se juntando ao óleo na parede dos cilindros. 1% de gasolina no óleo diminui 10% da viscosidade do lubrificante. Por sua vez, o álcool queima integralmente a 70° C.

COMBUSTÍVEIS PARA MOTORES DIESEL

Os combustíveis destinados aos motores Diesel devem ser facilmente inflamáveis ao contato com o ar superaquecido. Esta facilidade de inflamação é favorável ao arranque do motor e assegura em andamento uma combustão mais completa, diminuindo assim a produção de fumaças no escape.

A facilidade de inflamação dos combustíveis Diesel é indicado pelo “**índice de cetano**”.

O índice de cetano é determinado comparando a facilidade de inflamação do combustível a testar com a facilidade de inflamação de uma mistura de base. Esta mistura de base é formada de cetano (muito inflamável) de alfa-metilo-naftalina (muito pouco inflamável). O primeiro é um hidrocarboneto derivado do petróleo e o segundo é extraído do alcatrão de hulha.

A quantidade de cetano em porcentagem na mistura da base, caso tenha as mesmas facilidades de inflamação que o combustível testado, é dada como índice. Assim, por exemplo, um combustível é de 45 cetanos quando a sua facilidade de inflamação é idêntica à de uma mistura contendo 45% de cetano e 55% de alfa-metilo-naftalina.

Os combustíveis para motores a Diesel devem possuir um índice compreendido entre 30 e 60 cetanos.

Abaixo de 30 cetanos, o combustível apresenta grandes dificuldades de inflamação; não permite bons arranques a frio e provoca grande quantidade de fumaça no escape. Acima de 60 cetanos, a inflamação demasiado fácil do combustível favorece a detonação do motor, seguindo-se uma diminuição da potência e uma fadiga exagerada dos elementos mecânicos: pistões, bielas e cabeçote. Os combustíveis mais favoráveis aos motores Diesel atuais são aqueles cujo índice se situa entre 45 e 50 cetanos.

COMBUSTÍVEIS GASOSOS

Os combustíveis gasosos mais importantes são os gases naturais e o gás liqüefeito de petróleo. O gás natural é formado principalmente de compostos parafínicos de metano, CH₄. É usado para instalações estacionárias onde o suprimento de gás é abundante, como próximo de campos ou

linhas de gás natural. As tubulações de gás natural recebem energia de motores ou turbinas que usam esse gás como combustível.

Além do metano, o gás natural pode conter etano, C_2H_6 , propano, C_3H_8 , e butano, C_4H_{10} . Os dois últimos compostos são extraídos do gás natural ou do petróleo em que estão dissolvidos, e armazenados no estado líquido sob pressão. Nessa forma, eles são conhecidos como gases liquefeitos de petróleo ou gás engarrafado. A descompressão para a pressão atmosférica transforma-o em gás. O gás de garrafa é usado de maneira limitada em veículos automotores nos locais em que o suprimento é abundante.

Gás pobre. O gás pobre é obtido pela queima de material carbonáceo (carvão, madeira, carvão vegetal, carvão de pedra, etc.) com grande deficiência de ar. Os produtos dessa combustão parcial contêm CO e H_2 em quantidades suficientes tal que eles podem ser usados como combustível em um motor. A composição varia bastante com o combustível básico e com as condições de operação do aparato. Gerado por meio de pequenas unidades que podem ser levadas na traseira de um carro ou de um reboque leve, o gás pobre foi usado na Europa, na Ásia e na América do Sul durante os períodos de guerra, quando os combustíveis líquidos eram escassos.

Gás de fornalha. Como o nome indica, o gás de fornalha é aquele que sai da fornalha durante a operação de redução do minério de ferro. Como ele contém grande quantidade de material combustível, freqüentemente é usado nos motores de combustão interna próximos da fornalha, incluindo os motores que acionam ventiladores de suprimento de ar para a fornalha..

Gás artificial. O gás artificial é feito de carvão ou petróleo, por meio de vários métodos, usualmente envolvendo a combustão para CO, juntamente com a dissociação de água para se obter hidrogênio gasoso. O gás artificial é caro e tem sido substituído pelo gás natural em muitas áreas. No passado, foi usado em motores de bombas de incêndio e estações geradoras. É um combustível satisfatório, do ponto de vista técnico.

Os combustíveis gasosos eliminam a maioria das dificuldades associados à partida com combustíveis líquidos, e jamais necessitam de aquecimento do sistema de admissão. A distribuição de uma mistura adequada de combustível e ar para diversos cilindros é conseguida mais facilmente com combustíveis gasosos do que com os líquidos.

As desvantagens dos combustíveis gasosos estão associados aos problemas de armazenamento e manuseio. Em geral, não são adequados para uso em veículos autopropelidos devido ao tamanho ou peso dos recipientes necessários. Nos motores carburados, os gases deslocam mais ar do que no caso de combustíveis líquidos e, desta forma, tendem a reduzir a máxima potência fornecida.

COMBURENTE (ar atmosférico)

COMPOSIÇÃO DO AR.

COMPONENTES	PESO MOLECULAR	%
NITROGÊNIO - N	28	78.03
OXIGÊNIO - O	32	20.99
ARGÔNIO - Ar	40	0.94
GÁS CARBÔNICO - CO ₂	44	0.03
OUTROS		0.01

REAÇÕES BÁSICAS.



RELAÇÕES A/C UTILIZADAS:

	+ Rica	+ Pobre
Motores Otto (centelha)	11:1	17:1 (gasolina)
	7:1	11:1 (álcool)
Motores Diesel (compressão)	18:1	25:1 (diesel)

Calor Desenvolvido na Combustão

$$Q = Q_1 - Q_2$$

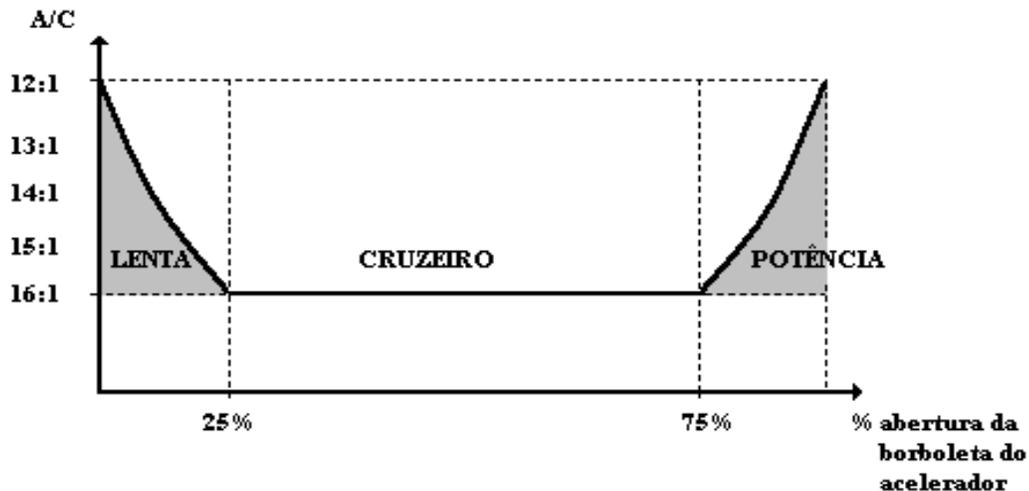
Sendo: Q_1 = Oxidação do combustível, do C e do H

Q_2 = Energia necessária para romper as ligações C, H

RELAÇÃO A/C REQUERIDAS POR UM MOTOR DE IGNIÇÃO POR CENTELHA ELÉTRICA (Motores Otto)

Carburador

- * Atomizar o combustível
- * Dosar o combustível
- * Realizar a mistura A/C



Nota: Quanto mais fechada estiver a borboleta do carburador, mais pobre será a mistura A/C.

Lenta (0 -> 25): Teor de gases residuais é bastante alto, borboleta pouco aberta, baixo enchimento do cilindro, baixas pressões, descarga não é eficiente (giro baixo).

Cruzeiro (25 -> 75): Teor de gases residuais é baixo, mistura o mais pobre possível pois não há necessidade de enriquecimento, descarga eficiente (regime de giro melhor).

Potência (75 -> 100): Necessidade de enriquecimento para compensar menor tempo para realização da mistura. O excesso auxilia a refrigerar o interior do motor e diminui a possibilidade de detonação (refrigera a válvula de descarga).

RELAÇÃO REQUERIDA POR UM MOTOR DE IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO (Motor Diesel)

Diferença em relação ao motor Otto

- * Ausência de carburador
- * Local de formação da mistura (câmara de combustão)

Requisitos:

- * Mistura enérgica para aumentar o contato (turbilhonamento, aumentar a energia cinética para promover maior contato entre o ar e o combustível)
- * Excesso de ar para aumentar o contato A/C

Relação Estequiométrica: É a relação onde se tem o mínimo de ar para oxidar completamente o combustível. No caso do motor Diesel esta relação é 15:1.

CAPÍTULO 4 - COMPONENTES DO MOTOR

ÓRGÃOS FIXOS

BLOCO DE CILINDROS. Os materiais do bloco de cilindros incluem o ferro fundido, alumínio fundido, alumínio forjado e aço forjado, usualmente soldado no último caso. O tipo apropriado depende principalmente das considerações do tipo de motor e custos de fabricação versus a importância da economia de peso.

O uso do alumínio em lugar do ferro fundido resulta em melhor dissipação de calor e redução do peso.

CONSIDERAÇÕES PARA O PROJETO DE BLOCOS FUNDIDOS.

Os princípios gerais a serem seguidos no projeto de bloco de cilindros fundidos incluem os seguintes itens:

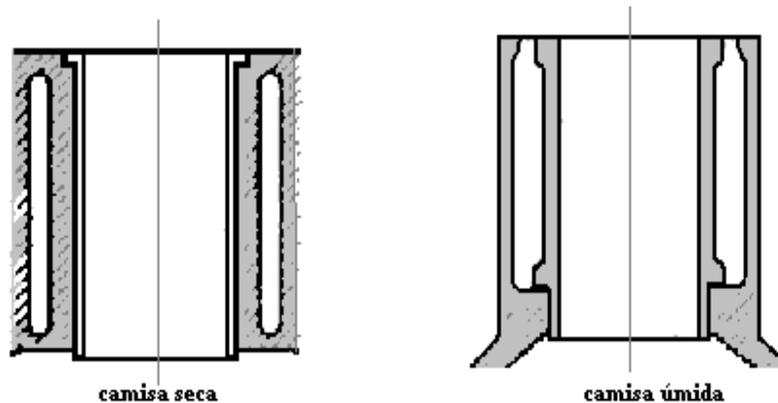
1. As seções espessas esfriam mais lentamente do que as delgadas e mudanças abruptas na espessura da seção devem ser evitadas sempre que possível, a fim de reduzir ao mínimo as deformações e fissuras de contração.
2. Evitar grandes seções planas. Curvar todas as grandes seções delgadas.
3. **Nervuras.** O costume de adição de “nervuras” ou “almas” delgadas para melhorar à flexão usualmente tem efeito oposto. É que a nervura age como um elevador de tensão e não deve ser usada quando se quer elevar a resistência à flexão. Seu uso para outras finalidades como, por exemplo, resfriamento ou redução de vibração, é permissível, contanto que a tensão adicionada não seja crítica. A adição do material da nervura à espessura da seção é uma prática melhor de se utilizar o material adicional.
4. Evitar furos para redução de peso, uma vez que as tensões concentra-se em tais aberturas.

O bloco de cilindros é freqüentemente fundido numa peça única com o cárter superior do motor; isto, favorece uma montagem precisa dos elementos mecânicos internos (virabrequim, bielas e pistões).

CILINDROS. Os cilindros são de ferro fundido, cuja fundição fácil permite executar as mais variadas formas do bloco e das câmaras de água. Geralmente as fundições de bloco com cilindros inclusos (não camisas) contém cromo, para aumentar a resistência dos cilindros ao desgaste. Nestes blocos a presença de níquel e de magnésio modifica a estrutura molecular da grafita (fofo) na fundição e favorece a durabilidade do motor.

Um bloco de cilindros pode conter camisas.

As camisas denominam-se secas quando sua superfície exterior não está em contato com a câmara de arrefecimento. Devem ser bem ajustadas ao bloco para facilitar a condutibilidade térmica. As camisas denominadas úmidas são aquelas que formam a parede interna da câmara de água. Neste caso, devem possuir uma perfeita vedação afim de evitar infiltração de água para o cárter do motor.



DESGASTE DOS CILINDROS. O funcionamento do motor leva a um desgaste progressivo dos cilindros. Este desgaste é irregular e dá ao cilindro uma ovalização e uma conicidade. O maior desgaste verifica-se no PMS. Neste local, a lubrificação é normalmente insuficiente, enquanto a pressão e a temperatura estão no seu máximo. No PMI, estas condições são exatamente opostas e o desgaste é quase nulo.

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

O desgaste é, em grande parte, devido aos arranques com o motor frio. A condensação da gasolina e a insuficiência de óleo fazem com que durante os primeiros minutos de funcionamento os pistões funcionem que completamente a seco.

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

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

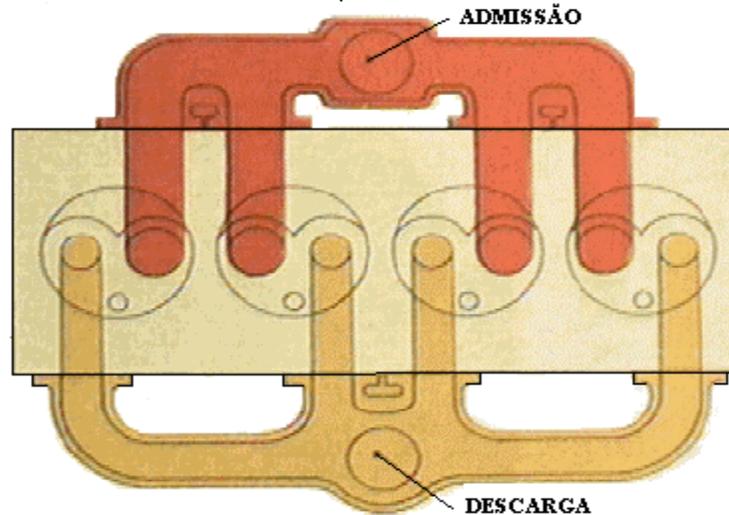
CÁRTER. O cárter de um motor é em ferro fundido ou em alumínio fundido. Forma a parte principal do bloco do motor e contém o virabrequim, o eixo de cames (motor de válvulas laterais) e a bomba de óleo. As extremidades do cárter têm freqüentemente garras destinadas a fixação do motor. As paredes extremas e as divisórias internas suportam os mancais do virabrequim.

A parte inferior do cárter forma depósito de óleo. É de chapa embutida ou de liga de alumínio. A sua fixação ao cárter superior faz-se por intermédio de cavilhas de aço doce.

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

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

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



COMPONENTES DO SISTEMA DE FORÇA

VIRABREQUIM. Os virabrequins são feitos de aço forjado, ou fundidos de aço, ferro maleável ou ferro cinza. Em termos qualitativos, as cargas em um virabrequim resultam em tensões devido à flexão, torção e cisalhamento em todo seu comprimento. A geometria complexa envolvida tornaria impossível cálculos precisos de tensão ainda que as cargas fossem conhecidas com precisão. Apesar dessas dificuldades entretanto, muito se tem feito para racionalização do projeto do virabrequim, grande parte por meio da análise experimental de tensões.

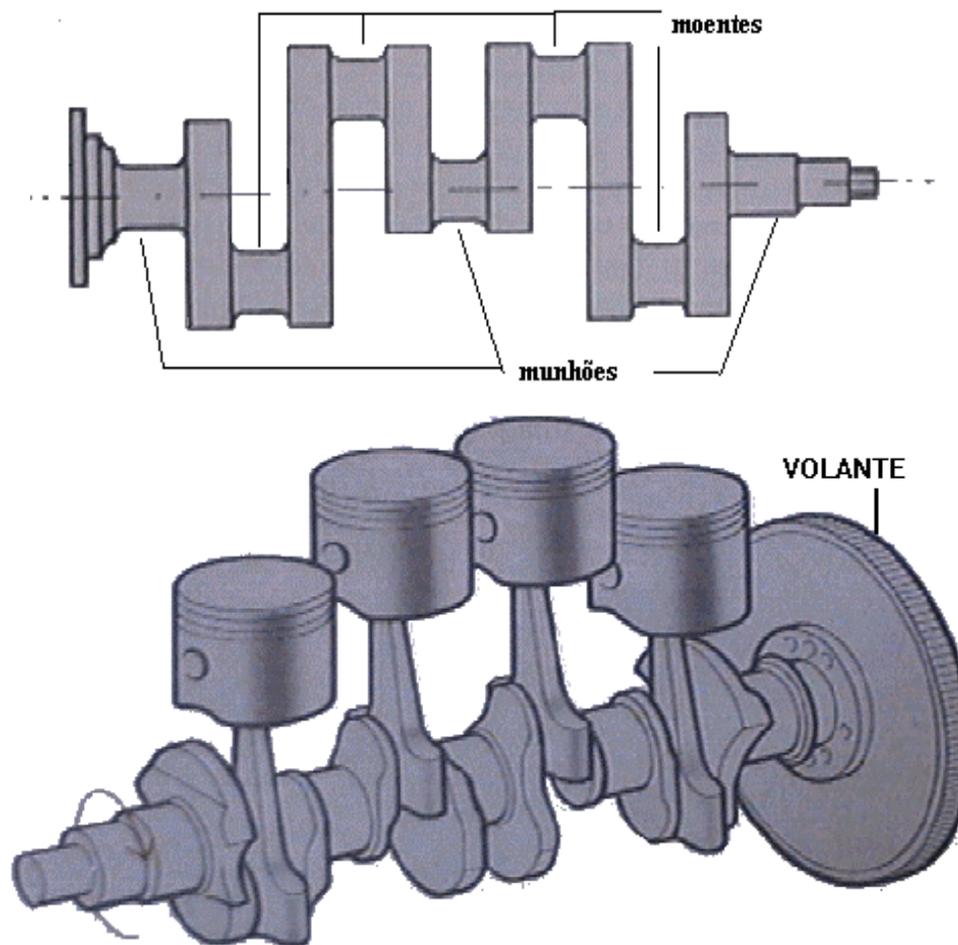
A linha de eixo é o conjunto de munhões nos quais gira o virabrequim apoiado no bloco do motor.

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

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

VOLANTE. O volante é de fundição ou de aço moldado.

Destina-se a regularizar a rotação do virabrequim. No momento da explosão, o volante absorve a energia desenvolvida; restitui-a nos tempos não motores. Os motores de um cilindro exigem um volante grande, enquanto que os de vários cilindros são equipados com volantes tanto mais leves quanto mais elevado for o número de cilindros.



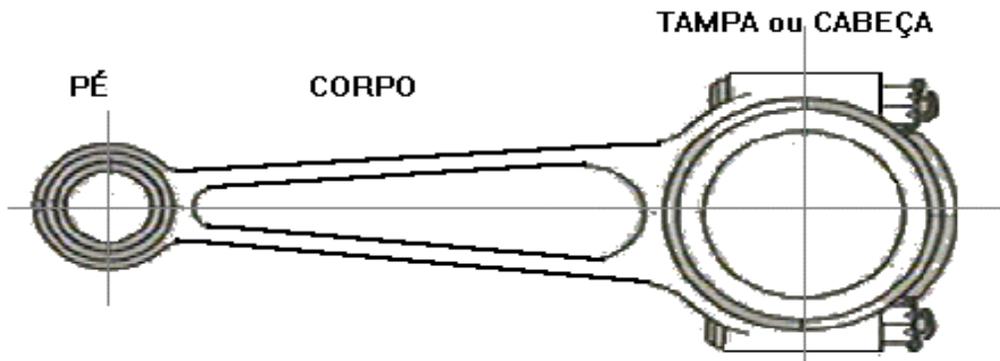
BIELAS. As bielas são de aço-liga estampado e por vezes de liga de alumínio. A tampa da biela é fixa por parafusos de aço ao cromo-níquel tratado, de grande resistência.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Para um regime de 3600 rpm, ele pára 120 vezes por segundo.

Entre cada parada ele atinge uma velocidade de 70 km por hora.

No momento da explosão, ele recebe um impulso de mais ou menos 20000 N (2000 kg), e isto, 30 vezes por segundo.

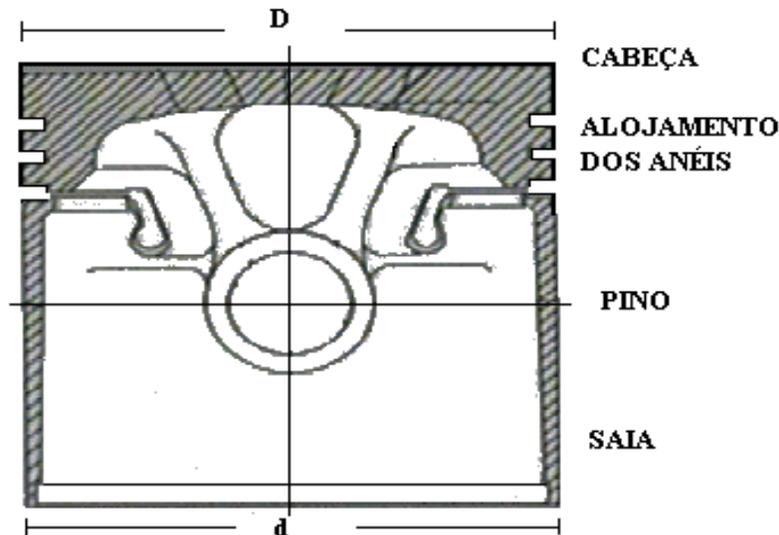
A sua temperatura sobe a 620 °K (350 °C), no centro da cabeça, e cerca de 420 a 450 °K (150 - 200 °C) na extremidade final da saia.

Em marcha, a dilatação dos pistões é grande. As folgas médias têm um diâmetro maior para os pistões de liga de alumínio devido à maior dilatação desta liga em relação à fundição ou ao aço. Contudo, estes últimos, não sendo tão bons condutores de calor, a sua temperatura eleva-se mais no que nos pistões de liga de alumínio.

À temperatura ambiente, o pistão deve ser ajustado no seu cilindro com uma certa folga, para que, mesmo depois de ter atingido a sua temperatura de marcha, ainda deslize livremente.

As folgas de dilatação dadas na fabricação do pistão dependem:

- do diâmetro do cilindro;
- do ou dos metais que compõem o pistão;
- da forma do pistão;
- do regime de rotação do motor;
- do sistema de refrigeração e de sua eficácia;
- das condições de emprego do motor;
- do tipo de combustível.



ANÉIS DE SEGMENTO. Os anéis de segmento constituem um problema difícil de projeto desde o advento do motor de combustão interna e, somente no período posterior à II. Guerra Mundial, os anéis alcançaram vida e confiabilidade comensurável com as das outras partes do motor.

Material dos anéis de segmento. A maioria dos anéis de segmento é feita de ferro fundido-cinza dada sua excelente resistência ao desgaste em todos os diâmetros de cilindro. Quando o vazamento pelo anel for um problema, utiliza-se o ferro modular ou mesmo o aço, usualmente com superfícies de mancal revestidas. Para maior resistência ao desgaste do anel e parede do cilindro, os anéis são de face cromada ou “molibdênio metalizado”, uma estrutura porosa de óxido de molibdênio. Os anéis de controle de óleo podem ser de ferro ou de aço.

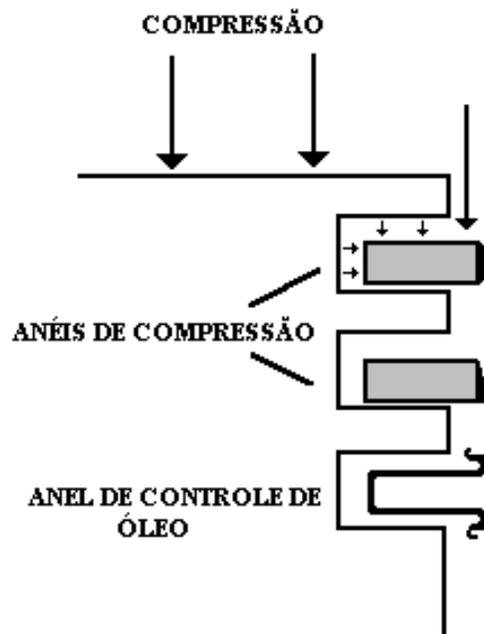
Projeto de anéis de segmento. O projeto dos anéis de segmento têm sido desenvolvido quase totalmente numa base empírica.

Os anéis de segmento têm duas funções: evitar o vazamento do gás e para manter o fluxo de óleo na câmara de combustão no mínimo necessário para a adequada lubrificação do anel e

do pistão. Nos motores modernos, a vazão de óleo através dos anéis é extremamente pequena e aproxima-se de zero para motores de pequeno e médio porte. Todos os anéis tomam parte no controle do fluxo de óleo, mas existe pelo menos um anel cuja função principal é essa. São os chamados anéis de controle de óleo, enquanto que os outros são anéis de compressão.

Os requisitos a seguir são considerados desejáveis:

1. A largura da face dos anéis deve ser pequena.
2. Utilização do menor número possível de anéis, para diminuir o atrito.



CAPÍTULO 5 - SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Chama-se distribuição o conjunto de elementos que comandam a admissão de mistura A/C motores Otto) ou ar (motores Diesel) nos cilindros e posteriormente a saída dos gases queimados.

São requisitos fundamentais para um sistema de distribuição eficiente, que cada válvula se mantenha aberta o tempo necessário para uma boa admissão de mistura ou ar), a lavagem do cilindro, e a completa expulsão dos gases queimados. Que funcione suave e eficientemente nos mais variados regimes de rotação do motor.

Pode-se designar um motor especificando a disposição dos seus elementos de distribuição.

Os motores de válvulas laterais possuem válvulas dispostas ao lados dos cilindros. Esta disposição clássica assegura um funcionamento silencioso, assim como uma marcha suave.

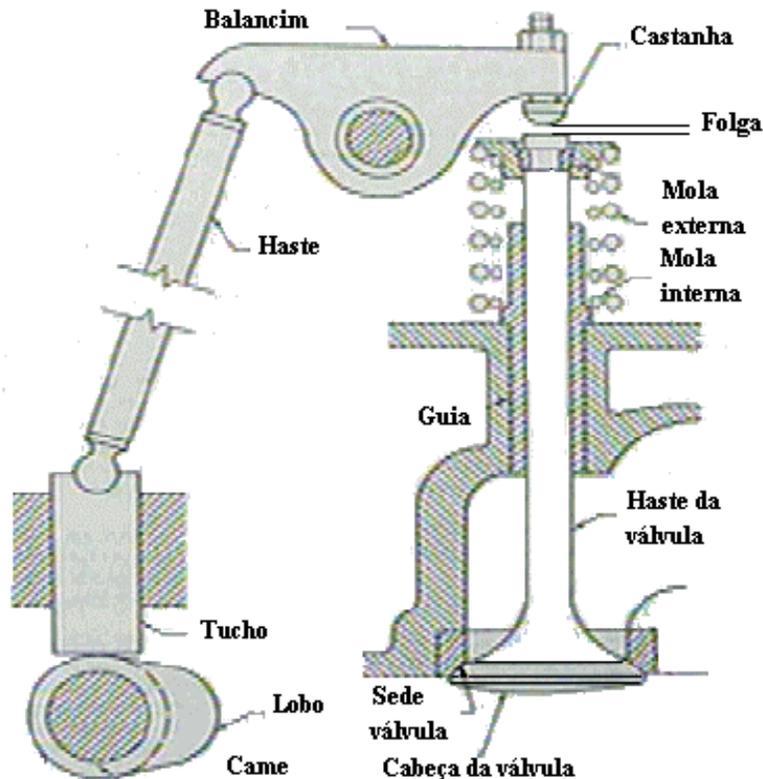
Os motores com válvulas suspensas possuem válvulas colocadas sobre os cilindros. Esta disposição permite uma forma mais racional da câmara de combustão, favorece a potência do motor e um rendimento térmico superior. A posição das válvulas suspensas determina melhor rendimento aos altos regimes e convém aos motores potentes de relação volumétrica elevada.

As válvulas suspensas podem ser acionadas:

- . por hastes e balancins com eixo de cames no cárter;
- . por balancins com eixo de cames suspenso;
- . por eixo de cames suspenso com impulsos diretos sobre as válvulas.

As duas últimas soluções exigem uma construção mais dispendiosa. A ligação do virabrequim e do eixo de cames é feita por meio de engrenagens, por uma corrente (corrente silenciosa), ou através de uma correia de borracha com arrames de aço (alma de aço). A fixação direta das válvulas permite obter uma abertura rápida particularmente em regimes muito altos, sendo reduzida ao mínimo a inércia das peças de movimento alternado.

ÓRGÃOS DE DISTRIBUIÇÃO



Pinhões de distribuição. Transmitem o movimento do virabrequim ao eixo de cames. Estes pinhões são de aço semiduro, para acionamentos por corrente. São de aço ou matérias plásticas estratificadas, para acionamento por meio de engrenagens.

Como o eixo de cames gira à metade da velocidade do virabrequim, a relação de transmissão dos pinhões de distribuição é de 1:2 (motores a 4 tempos).

A posição exata de engrenagem dos pinhões de distribuição é marcada pelo fabricante no momento da montagem. Esta marcação corresponde geralmente à posição do primeiro pistão no PMS, no final do tempo de descarga.

Nas distribuições acionadas por engrenagens, a marcação é feita por traços ou pontos marcados nos dentes.

Quando a distribuição é acionada por corrente ou por correia dentada, a marcação dos pinhões, afastados um do outro, é obtida por meio de traços que se fazem coincidir simultaneamente com a linha reta que liga o eixo das duas rodas dentadas, ou por meio de marcas no bloco do motor.

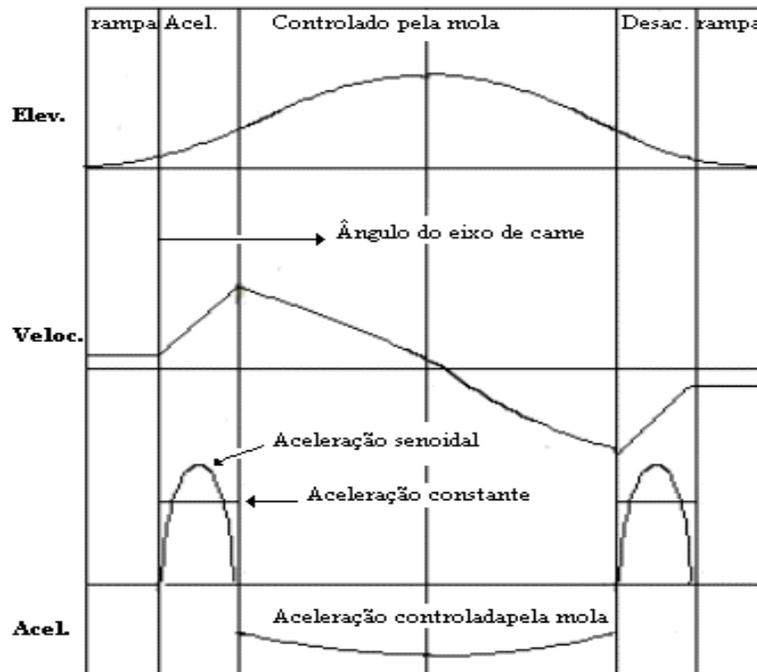
Eixo de cames. Ou comando de válvulas é um eixo que tem solidário a ele ressaltos ou excêntricos, destinados a agir sobre os impulsadores das válvulas em tempos precisos.

São fabricados em aço forjado ou ferro fundido (ao níquel-cromo-molibdênio). Passa por tratamentos como cementação e tempera, de maneira a oferecer a máxima resistência ao desgaste dos excêntricos.

Geralmente o eixo de cames gira em mancais regulados, por vezes em mancais de bronze ou de fundição.

A forma e a posição dos cames determinam diretamente as características de potência e de regime do motor.

Projeto do came. Devido a limitações de tensão, as válvulas não podem ser abertas e fechadas repentinamente, mas devem seguir uma configuração de caráter geral, mostrado no gráfico a seguir. O movimento atual da válvula será o projetado, como mostra a figura, modificado pelas características elásticas do mecanismo da válvula.



A fim de que a válvula sempre vede bem, e para permitir ajustagens, desgaste, expansão e contração devido a mudanças de temperatura, é necessária sempre alguma folga. Essa folga deve ser a mínima necessária para assegurar que a válvula vem em todas as condições normais, incluindo uma folga razoável para erros de ajustagem. Incluindo nestas condições a dilatação dos materiais e manutenção da lubrificação.

É fundamental considerar as conseqüências de uma defeituosa folga nas válvulas: as folgas pequenas provocarão na admissão má compressão e explosões nos condutos de admissão. Se na descarga as conseqüências serão danosas para a integridade do sistema uma vez que além de má compressão, poderá provocar a queima da válvula (deformação da válvula).

As folgas excessivas na admissão terão como resultado a deficiente admissão, enquanto na descarga o escape incompleto dos gases queimados. Nas duas situações o resultado será o baixo rendimento do motor.

No instante que o came encontra o tucho no início do ciclo de abertura, a folga é "compensada" por uma rampa de velocidade constante (velocidade aqui significa elevação por unidade de tempo em determinada rotação da manivela).

A curva de elevação de válvula vérsus ângulo de manivela deve ser traduzida no contorno do came desejado, que depende do projeto do mecanismo da válvula, incluindo naturalmente a forma do seguidor (tucho) do came.

Tucho. Tem a função de transmitir o movimento do came à vareta ou haste impulsora. São fabricados em aço nitrado forjado ou de fundição temperada. Devem ser rígidos na compressão e também como uma coluna. Tubos de aço parecem ser os mais adequados.

Quando o carregamento do came é alto, como nos motores que operam em longos períodos com elevadas velocidades do pistão, são necessários tuchos de rolete feitos de aço com endurecimento superficial, operando com comes do mesmo material. Os tuchos com roletes também são aconselháveis quando se deseja longa vida para o motor.

Tucho hidráulico. O uso de tuchos hidráulicos é bastante geral para motores de automóveis, onde o baixo nível de ruído é considerado essencial. Como o sistema hidráulico amortece a folga, as rampas para uso deste tipo de tucho podem ter maiores velocidades do que aquelas de sistemas mecânicos. Outra vantagem prática dos tuchos hidráulicos é a de ajustagem automática para o desgaste do mecanismo de válvula, eliminando desta forma a necessidade de ajustagem periódica da folga.

Balancins. Os balancins tem a função de inverter o sentido do movimento gerado pelo came. Podem ser de fundição, aço estampado ou alumínio.

Mola da válvula. Tem como função fechar a válvula mantendo-a pressionada contra a sua sede.

Cargas da mola. A mínima carga, isto é, com a válvula fechada, deveria ser alta o bastante para manter a válvula firmemente em sua sede durante o período em que permanece fechada. Nos motores carburados, a válvula de descarga deve ficar fechada no maior vácuo do coletor e, nos motores supercarregados, a válvula de admissão não deve ser aberta pela mais elevada pressão do coletor.

Flutuação de válvulas. Está sempre presente uma vibração interespira, chamada de onda, de maior ou menor intensidade. Com a vibração interespira, a máxima tensão será maior do que a tensão calculada na razão da deflexão atual para a admitida das espiras. É obviamente desejável reduzir a amplitude da vibração interespira a um mínimo.

Diz-se que há flutuação de válvulas, quando a mola que é um sistema oscilante, recebe uma excitação com frequência igual a uma das suas frequências naturais.

Tais vibrações podem ser reduzidas por meio de amortecedores de atrito, por ângulos de hélice não uniformes, duas molas com diâmetros distintos e sentido das hélices opostos.

Válvulas. A válvula de haste é hoje universalmente usada nos motores de quatro tempos. São elas que regulam a entrada e saída de gases no cilindro.

As válvulas de admissão são de aço, de aço ao níquel ou cromo-níquel. A passagem dos gases novos mantém a sua temperatura a cerca de 523 a 573°K (250 a 300°C).

As válvulas de descarga são de uma liga de aço, de forte teor de níquel, de cromo e de tungstênio. O cromo torna o aço inoxidável; o tungstênio mantém uma forte resistência mecânica à temperatura elevada; o níquel melhora a resistência.

As válvulas de descarga suportam um pouco a passagem de gases a temperaturas elevadas (973 a 1023°K - 700 a 750°C). À plena potência elas funcionam geralmente ao vermelho-escuro.

A válvula é resfriada por contato com o assento e com a guia. Nos motores muito potentes, as válvulas de escape são interiormente guarnecidas com sais de sódio ou potássio destinados a melhorar a refrigeração por condutibilidade.

A cabeça da válvula comporta uma superfície de apoio retificada cujo o ângulo pode ser de 45° ou 60° . Um ângulo de 45° permite uma melhor centragem da válvula sobre o seu assento cada vez que se dá o encaixe, mas, para uma dada subida, a seção de passagem dos gases é melhor do que o assento de 60° . Estas particularidades fazem com que se dê preferência ao ângulo de 45° para as válvulas de escape, mais facilmente deformáveis a alta temperatura, e o ângulo de 60° às válvulas de admissão, que devem sobretudo favorecer a entrada dos gases novos no cilindro.

CAPÍTULO 6 - SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

INTRODUÇÃO

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

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

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

Além do calor transmitido do fluido de trabalho durante os cursos de compressão e expansão, uma parcela ponderável é transmitida para a estrutura do cilindro e, conseqüentemente, para o meio refrigerante, durante o processo de descarga. O atrito do pistão também constitui uma fonte de mensurável fluxo de calor. Assim, o fluxo total de calor no sistema de refrigeração é muito maior do que o fluxo de calor dos gases durante o ciclo de trabalho.

O processo de refrigeração envolve o fluxo de calor dos gases, sempre que a temperatura destes excede a da parede do cilindro. O atrito é outra causa de fluxo de calor para as diversas partes do motor. O atrito mecânico ou o fluido eleva a temperatura do lubrificante e das partes envolvidas, resultando em fluxo de calor para as partes vizinhas ao resfriador e de lá para o refrigerante.

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

PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR

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

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

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

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

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

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

TIPOS DE SISTEMAS

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

Nos sistemas de ventilação natural, é o deslocamento do veículo que provoca a circulação de ar em volta dos cilindros (motocicletas). A eficácia da refrigeração depende, portanto, da velocidade do mesmo. Ela é suficiente a velocidades normais e altas, porém insuficiente quando parado ou a plena potência em relação de transmissão inferiores.

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

A ventilação forçada permite uma refrigeração suficiente em todas as condições de funcionamento do motor. Contudo, em condições climática desfavoráveis (frio) a ventilação é excessiva, e a refrigeração tende a levar o motor a funcionar a uma temperatura muito baixa. Corrige-se este defeito pelo emprego de um obturador que limita a quantidade de ar aspirado. Este obturador pode ser acionado por um comando manual ou por um dispositivo termostático situado na corrente de ar quente que sai do motor.

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

Para controlar a temperatura de funcionamento de uma motor de refrigeração a ar, coloca-se um termostato sobre o cárter ou no óleo de lubrificação.

De um modo geral, a refrigeração a ar faz com que o motor funcione a temperaturas muito variáveis. A ajustagem dos pistões, segmentos e válvulas exige folgas de dilatação suficientes. O óleo deve ser de excelente qualidade.

Refrigeração a água

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

A refrigeração a água compreende:

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

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

Alguns projetos substituem a válvula por um recipiente de expansão hermeticamente fechado. Quando a temperatura da água no radiador for elevada, a água do radiador é realçada para o recipiente, o nível do líquido eleva-se, o que provoca um aumento da pressão. A frio, a contração do líquido abaixa o nível no recipiente e a pressão diminui quando em repouso. Os bujões do radiador e do recipiente de expansão são, de um modo geral, chumbados e o líquido deve possuir permanentemente a dosagem normal de anticongelante.

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

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

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

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

Sistema de refrigeração natural - Termossifão

Este tipo de motor não possui bomba (obsoleto).

A circulação de água efetua-se naturalmente pela diferença de densidade entre a água fria (menos densa) do motor e a água quente (mais densa) do radiador. É a circulação por termossifão. Nesse caso, os tubos e passagens de água tem grande seção.

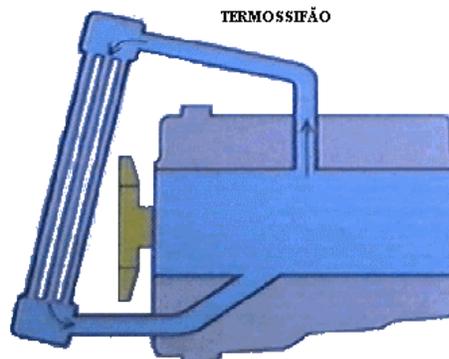
A circulação por termossifão tem as seguintes particularidades:

Aquecimento rápido do motor quando do acionamento a frio, porque a água só circula depois de ter sido aquecida;

Circulação proporcional ao calor desprendido pelo motor;

Grande diferença de temperatura entre as partes superior e inferior do radiador, daí o perigo de congelamento no inverno;

Necessidade de manter sempre o volume completo da circulação para permitir o a circulação natural.

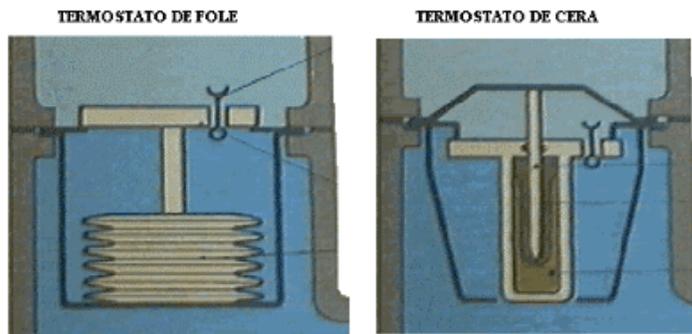


Sistema de circulação forçada - por bomba

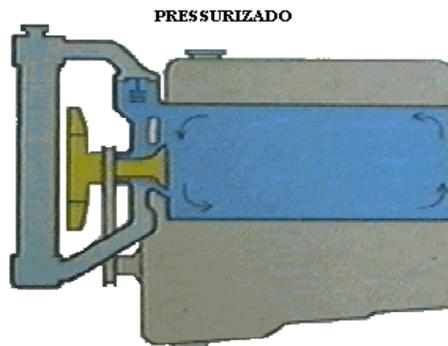
A circulação por bomba é mais rápida, o que resulta uma menor diferença de temperatura nas extremidades do radiador e menos riscos de congelamento no inverno. Contudo, quando se aciona o motor, a água fria entra imediatamente em circulação, e o aquecimento do motor é mais lento.



A utilização neste caso de um termostato freia e mesmo interrompe a circulação de água se a sua temperatura não for superior a 353 °K (80 °C). O termostato é, freqüentemente, completado por uma passagem auxiliar que, no caso de este estar fechado, permite que a água que sai do motor volte ao bloco de cilindros sem ter que passar pelo radiador. Assim, o aquecimento do motor é acelerado.



Em um motor de combustão interna, a refrigeração a água mantém uma temperatura de funcionamento mais regular que a refrigeração a ar. A temperatura das paredes do cilindro não ultrapassa 393 °K (120 °C).



Anticongelantes

Para evitar que, no inverno a água congele, junta-se lhe álcool ou glicerina pura.

O álcool dilui-se facilmente; a mistura permanece homogênea, mas, como o álcool se evapora mais facilmente que a água, deve-se verificar a sua proporção periodicamente.

A resistência ao frio depende da quantidade de álcool ou de glicerina que se adicionou à água.

O emprego de anticongelantes é uma medida de segurança. Contudo permitir-se-ão melhores arranques se o ambiente estiver em local aquecido ou se houver um sistema de aquecimento na circulação. O acionamento de um motor cuja temperatura é inferior a 273 °K (0 °C) apresenta certas dificuldades e alguns perigos. Se não houver lubrificação, o metal mais frágil poderá sofrer, sob o efeito de choques, um começo de ruptura (molas de válvulas, etc.).

CAPÍTULO 7 - SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

ATRITOS

Quando duas superfícies de contato se deslocam uma em relação à outra, há atrito. Consideram-se três espécies de atrito:

Atrito seco, em que as superfícies estão em contato sem a interposição de lubrificante;

Atrito úmido, em que uma pequena película de lubrificante favorece a fricção sem impedir que as superfícies entrem em contato pela crista das suas rugosidades;

Atrito líquido, em que a película de lubrificante é contínua e homogênea, impedindo assim que as duas superfícies entrem em contato.

Ligando os dois pólos de uma pilha às duas peças em movimento, por intermédio de um galvanômetro, verifica-se uma passagem de corrente nos dois primeiros casos e uma interrupção de corrente no caso do atrito líquido.

Todas as peças em movimento de um motor de combustão interna devem ser lubrificadas de modo a permitirem um atrito líquido (desgaste mínimo). Contudo, na prática, não é exatamente este o resultado que se alcança. Sob a pressão das peças, o óleo é expulso, a película desgasta-se e as superfícies entram em contato acontecendo, assim, o atrito úmido.

A passagem do atrito líquido ao atrito úmido é tanto mais fácil quanto maiores as pressões e as temperaturas e quanto pior a qualidade do óleo.

LUBRIFICANTES

Os óleos destinados à lubrificação dos motores de combustão interna devem possuir um certo número de qualidades perfeitamente determinadas. Sob o ponto de vista prático, eles são caracterizados principalmente pela sua viscosidade, o seu ponto de combustão e o seu ponto de congelamento.

A **viscosidade** caracteriza as particularidades de escoamento do óleo. Pode-se medir-se por diferentes métodos, fazendo parte de cada um deles um sistema de unidades. O método Engler é o mais comumente utilizado. O escoamento de uma certa quantidade de óleo por um orifício de pequeno diâmetro é comparado ao escoamento de uma mesma quantidade de água. A relação dos tempos de escoamento dá, em graus Engler, a viscosidade do óleo. Por exemplo, um escoamento seis vezes mais lento que o da água é designado por 6° Engler.

A viscosidade pode-se, assim, exprimir por centistock (1/100 de stock). É a viscosidade física absoluta do lubrificante, isto é, a resistência real do deslocamento das suas moléculas, umas em relação às outras. Determina-se a viscosidade medindo a força necessária para fazer deslocar de 1 cm, no seio do lubrificante, uma superfície de 1 cm², à velocidade de 1 cm/seg. Para fazer essa medida, usa-se também a massa específica do lubrificante utilizado.

Este método de medição da viscosidade pode ser utilizado para todos os lubrificantes, desde os óleos mais líquidos às graxas mais consistentes.

A viscosidade de um óleo modifica-se com a temperatura. Quanto mais quente está o óleo, mais a viscosidade diminui.

A principal qualidade de um óleo deve ser a de que a sua viscosidade seja ainda suficiente para assegurar um atrito líquido a temperaturas de funcionamento das peças do motor

entre 353 °K e 423 °K (80 a 150 °C). Com um óleo de qualidade inferior, a viscosidade diminui a tal ponto, que o motor só trabalha a atritos úmidos (desgaste rápido).

O ponto de combustão é a temperatura à qual o óleo emite vapores suscetíveis de serem inflamados. Deve ser o mais elevado possível, de modo a evitar as fugas por vaporização ao contato das partes inferiores do pistão do motor quente. A temperatura de combustão é, geralmente, superior a 493 °K (220 °C) para os óleos finos e ultrapassa 253 °K (250 °C) para os óleos espessos.

O ponto de congelamento é a temperatura em que o óleo não escorre mais de uma proveta quando esta é inclinada, O ponto de congelamento deve ser o mais baixo possível, de modo a facilitar que o motor entre em movimento depois de tempo prolongado sob temperaturas muito baixas.

As diferenças estruturas moleculares dos óleos dão-lhes algumas qualidades particulares que influenciam o seu comportamento no motor.

A qualidade de aderir a superfícies metálicas é denominada adesividade. Esta qualidade favorece a formação de uma película lubrificante e mantém na contínua apesar das cargas fortes. Em certa medida, a adesividade e a viscosidade são paralelas. A uma viscosidade mais elevada corresponde uma maior adesividade. Mas, a uma viscosidade igual, a adesividade pode ser diferente, conforme a estrutura molecular de cada lubrificante.

A propriedade de combustão de óleo é uma característica independente do seu ponto de combustão. Ela evita a acumulação de produtos carbonizados na câmara de combustão e nos canais de escape do motor. Esta propriedade de combustão é predominante nos sistemas de lubrificação por mistura de óleo no combustível (motor a 2 tempos). Como uma certa proporção de óleo passa do cárter à câmara de combustão durante o transvasamento dos gases, é necessário que ela seja queimada fácil e totalmente.

De modo geral, os óleos destinados aos motores de combustão interna são de origem mineral. Estes óleos possuem uma grande estabilidade química. Contudo, o seu poder lubrificante diminui rapidamente acima de 393 °K (120 °C).

Usou-se, durante muito tempo, o óleo vegetal extraído do rícino. Este óleo assegura uma melhor lubrificação a temperaturas elevadas mas a sua estabilidade química é pequena. Dá origem ao aparecimento de ácidos orgânicos não aconselháveis ao motor. Efetuando a mistura de óleos minerais e vegetais, obtêm-se mistos reunindo as qualidades de ambos os componentes, isto é, a estabilidade e a resistência da película lubrificante a altas temperaturas. No entanto, para ser homogênea, esta mistura deve conter uma certa proporção de óleo animal. De tudo isto, resulta um preço de custo bastante elevado.

Atualmente, prefere-se melhorar o óleo mineral adicionando-se elementos químicos apropriados, Estes aditivos podem ter uma grande concentração a ser introduzidos no motor no momento da sua utilização.

Os aditivos podem ser diretamente adicionados ao óleo quando da sua fabricação. Neste caso é lhes dado o nome de óleos aditivos, designados comumente por óleos H.D. (Heavy Duty). Os óleos H.D. são vendidos no mercado sob diversas designações, dependendo estas da proporção de aditivos que eles contêm.

O aperfeiçoamento progressivo dos óleos minerais destinados aos motores combustão interna deu origem ao aparecimento de óleos chamados de **todas as estações** ou de **multiviscosos**. Estes óleos são, em geral, formados por vários óleos de base com estruturas moleculares diferentes, aos quais foram adicionados os aditivos habituais dos óleos H.D.

SUPERLUBRIFICANTES (Aditivos especiais)

Chamam-se assim os óleos e produtos especiais destinados a uma melhor lubrificação de certos pontos delicados do motor. São incorporados ao combustível ou ao óleo de lubrificação.

Incorporado ao combustível, o superlubrificante penetra no topo dos cilindros. Melhora a lubrificação das cabeças do pistão, dos anéis de segmento e das partes superiores das guias de válvulas. Estes produtos são, especialmente, formados por um óleo resistente às temperaturas da câmara de combustão.

Por vezes, alguns superlubrificantes são completados por um produto antidetonante.

Todos os superlubrificantes destinados a ser incorporados no óleo do motor contêm grafita coloidal. A grafita incrusta-se nas superfícies de atrito, mancais, pinos, bielas, eixos de cames; nestes elementos, mantêm uma lubrificação excelente quando a sua temperatura se eleva exageradamente.

Apenas a grafita coloidal fica em suspensão no óleo e fornece uma lubrificação correta. A grafita em pó ou em pasta é **perigosa**. Ela obstrui os condutos de lubrificação e provoca um desgaste prematuro dos elementos mecânicos.

Observações. Um certo número de superlubrificantes destinados aos óleos de motores contêm igualmente aditivos metálicos. A sua ação não é imediata; é necessário que o motor durante algumas horas com estes produtos para lhes permitir melhoria progressiva das superfícies de atrito.

Por outro lado, todos os superlubrificantes destinados à mistura carburada são adicionados de produtos **antidetonantes e decapantes**. Os primeiros asseguram um melhor desenvolvimento da explosão (ver combustão, explosão e detonação); tem uma ação imediata. Os segundos favorecem a limpeza das câmaras de combustão; contudo para que a sua ação seja eficaz, é necessário por o motor a funcionar durante alguns minutos a plena potência e alto regime.

O emprego de um superlubrificante no óleo do motor é indicado em todos os casos de serviço prolongado a plena carga e altos regimes. Sua ação é particularmente eficaz quando o óleo do cárter ultrapassa 373 °K (100 °C)

ÓLEOS ADITIVOS

Os óleos aditivos, conhecidos também por óleos H.D., são óleos que contêm um certo número de corpos químicos destinados a dar propriedades especiais ao lubrificante. Os corpos adicionados ao óleo são, normalmente, compostos de enxofre, grafita, cromo, chumbo, estanho e alguns produtos sintéticos. Os ingredientes adicionais variam dependendo especialmente das propriedades que se visam a obter.

As propriedades obtidas pela incorporação de aditivos são as seguintes:

Poder detergente: o óleo dissolve os produtos sólidos de combustão, borrachas e óleos gráfiticos; esta propriedade evita, assim, a formação de depósitos sobre as paredes internas do motor;

Poder dispersante: é a característica que dá ao óleo a possibilidade de conservar em suspensão todos os produtos dissolvidos e de impedir a sua acumulação no fundo do cárter ou nos filtros; o poder dispersante completa a ação dos produtos detergentes;

Propriedade M.P. (máxima pressão): é a propriedade que a camada de óleo tem que lhe permite resistir às altas pressões mecânicas atuando sobre os mancais do motor; a qualidade de lubrificação

mantém-se, assim, mais acentuada quando do funcionamento a plena potência, altos regimes e altas temperaturas;

Resistência à oxidação: ao contato do ar do cárter e dos gases ácidos de combustão, o óleo tende a se transformar por oxidação. Como resultado, assiste-se a uma redução do seu poder lubrificante. Os aditivos destinados a resistir aos fenômenos de oxidação fazem com que o óleo conserve durante mais tempo as suas qualidades lubrificantes. Estes aditivos neutralizam os ácidos que pouco tendem a acumular-se no cárter do motor, e cuja presença origina desgastes nas superfícies de atrito.

PARTICULARIDADES DOS ÓLEOS ADITIVOS

Como a composição dos óleos aditivos varia conforme o fabricante, é fundamental não misturar óleos H.D. de proveniências diferentes, afim de evitar o comprometimento de sua estabilidade.

Por outro lado, o poder detergente confere ao óleo uma propriedade de penetração muito grande. Esta propriedade faz com que seja mais difícil efetuar a vedação do motor e provoca mais facilmente subidas de óleo nas câmaras de combustão; o que pode resultar num pequeno aumento de consumo de lubrificante.

Em um motor usado, a introdução de óleo aditivo origina a dissolução dos depósitos. Os elementos móveis e, em particular, os anéis de compressão trabalham mais livremente. Deste fato resulta uma melhoria da compressão e da potência, mas, freqüentemente, a marcha do motor é um pouco mais ruidosa.

A introdução de um óleo aditivo altamente detergente em um motor que anteriormente já funcionou com óleo comum apresenta certos riscos. O óleo aditivo provoca o desprendimento dos depósitos de carvão internos. Estes depósitos, de volume apreciável, não se dissolvem totalmente no óleo; acumulando-se no fundo do cárter, nos filtros e nos condutos de lubrificação, onde sua presença pode criar graves incidentes.

ÓLEOS MULTI-VISCOSOS (multigrade)

Chama-se óleos multi-viscosos uma categoria de lubrificantes atuais que apresentam uma pequena variação de viscosidade em relação às variações da sua temperatura. A frio, por exemplo, um óleo multi-viscoso possui a mesma viscosidade de óleos comuns S.A.E. 10, enquanto que a quente, sua viscosidade é idêntica a dos óleos grupo S.A.E. 30. Obtém-se esta característica por meio de uma mistura apropriada de vários óleos de base.

Os óleos multi-viscosos asseguram uma lubrificação correta em todas as condições de funcionamento do motor e independe das condições climáticas. São munidos de aditivos habituais dos óleos H.D. e requerem as mesmas precauções quanto a sua utilização. As vantagens principais que apresentam são as de assegurar excelentes condições para partida a frio, uma lubrificação imediata quando do acionamento, conservando um poder lubrificante a alta temperatura.

CLASSIFICAÇÃO GERAL DOS ÓLEOS

Durante muito tempo estes óleos foram classificados apenas sob o aspecto da sua viscosidade, medida à temperatura de 323°K (50°C). A tabela a seguir especifica as designações, os grupos S.A.E e as viscosidades correspondentes.

DESIGNAÇÕES	GRUPO	VISCOSIDADE MÉDIA A 323° K	
		graus Engler	graus centistock
muito fluido	S.A.E. 5	2 a 2.3°	12 a 15°
	S.A.E. 10	2.3 a 3.3°	15 a 24°
fluido	S.A.E. 20	3.3 a 6.6°	24 a 50°
	S.A.E. 30	6.6 a 9.7°	50 a 74°
viscoso	S.A.E. 40	9.7 a 14.0°	74 a 107°
	S.A.E. 50	14.0 a 21.0°	107 a 160°

Atualmente, tende-se a fazer a classificação dos óleos conforme o gênero de trabalho exigido ao motor, isto é, conforme a espécie de serviço a que este é submetido.

Utilizam-se as seguintes designações para os usos correspondentes:

Motores Otto

SA para serviços leves

SB para serviços médios

SC para serviços pesados e intermitentes

SD para serviços muito pesados e contínuos

SE para serviços extremamente pesados a velocidades elevadas contínuas

SF para serviços extremamente pesados, velocidades elevadas contínuas, temperaturas elevadas

SH para serviços extremamente pesados, velocidades elevadas contínuas, temperaturas extremamente elevadas

Motores Diesel

CA para serviços leves

CB para serviços médios

CC para serviços pesados

CD para serviços muito pesados

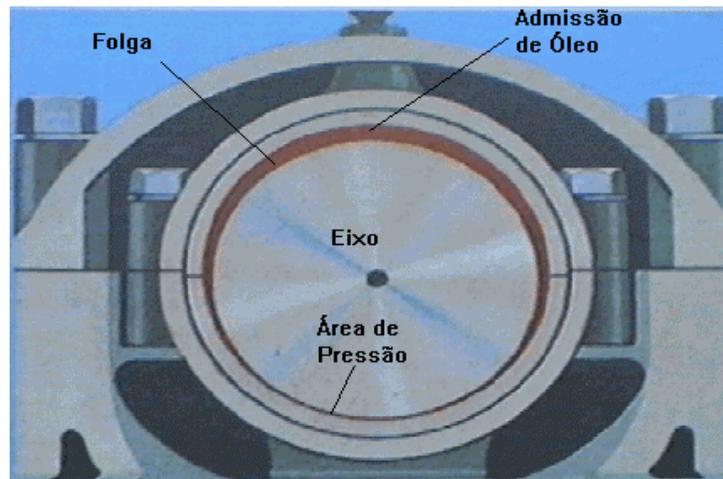
Obs.: A classificação de serviço é independente da viscosidade. Esta, é indicada pelas especificações habituais SAE 10, SAE 20, etc., ou, para óleos multiviscosos, SAE 10-30, SAE 20-40, etc.

ÓLEO PARA MOTORES A DOIS TEMPOS

Nos motores a 2 tempos, lubrificados por mistura de óleo ao combustível, é recomendado utilizar um óleo de baixa temperatura de combustão, de modo a facilitar a combustão das partículas espessas que entram na câmara de combustão. Por outro lado, todos os aditivos habituais de um óleo indicado para motores de 4 tempos contém compostos organometálicos. Estes aditivos provocam o curto-circuito da vela por acumulação de metal entre os eletrodos. Os óleos especiais para motores a 2 tempos possuem aditivos que não apresentam este inconveniente.

A proporção do óleo a juntar ao combustível indicada pelo fabricante do motor. É preciso respeitar a dosagem prescrita, em especial para os motores de pequena cilindrada, nos quais o consumo de combustível implica um pequeno fornecimento de lubrificante.

ELEMENTOS DE LUBRIFICAÇÃO



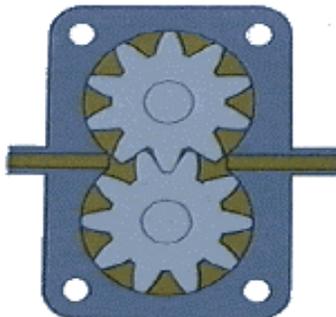
São os seguintes os elementos lubrificantes:

O reservatório de óleo, cárter inferior do motor que contém a reserva de óleo.

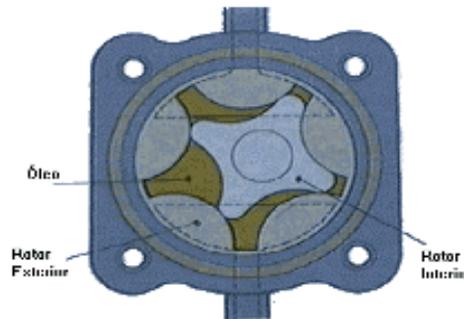
A bomba de óleo, formada por duas engrenagens, um canal de aspiração e um canal de recalque ao coletor principal.

TIPOS DE BOMBAS

DE ENGRENAGENS



DE ROTOR EXCÊNTRICO



O coletor principal, de onde saem os canais de lubrificação para cada peça a lubrificar: virabrequim, bielas, eixo de cames, etc. Do coletor saem também as ligações para o manômetro de pressão e para o filtro de óleo.

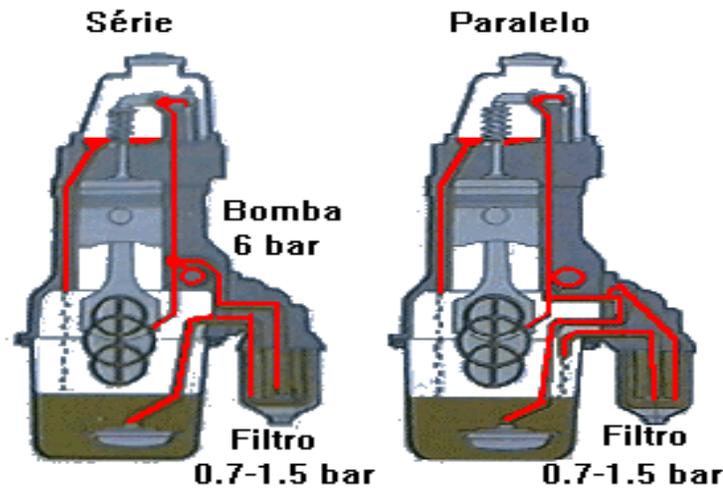
A válvula de escape é colocada sobre o coletor ou sobre a bomba. A sua função é a de limitar a pressão máxima nos tubos de lubrificação.

Quando a pressão fornecida pela bomba for muito elevada (altos regimes ou óleo frio), a válvula permite a passagem de óleo por um orifício de escape; uma parte do óleo escapa e entra diretamente no cárter.

O **filtro de óleo** retém as impurezas metálicas e os partículas de carbono em suspensão no óleo depois de um certo tempo de funcionamento.

Com o filtro de óleo colocado em derivação sobre o coletor principal, o principal entra diretamente no cárter. A filtragem tem por finalidade reduzir a densidade de impurezas.

Com o filtro de óleo colocado em série sobre os tubos de lubrificação, o óleo filtrado passa inteiramente para as peças a lubrificar. Para que a obstrução do filtro não ocasione uma redução de lubrificação, todos os filtros em série são providos de uma válvula by-pass. Em caso de obstrução, a pressão da bomba aumenta, um orifício se abre e flui diretamente ao coletor principal sem ser filtrado.



O **radiador do óleo** colocado no conduto de água inferior ou encaixado na parte de baixo do radiador, tem uma dupla finalidade:

- 1) acelerar o aquecimento do óleo quando se põe em funcionamento o motor a frio;
- 2) impedir, em seguida, que esta temperatura se eleve exageradamente durante um andamento normal.

A melhor lubrificação é obtida quando o óleo tem uma temperatura de 232 °K (50 °C). O radiador de óleo tem, como finalidade, portanto, normalizar rapidamente a temperatura do óleo e depois mantê-la. Pode ser colocado em derivação ou em série sobre os tubos de lubrificação. Nos grandes motores é sempre colocado em derivação, e possui uma bomba de circulação independente da de lubrificação.

Nos motores de refrigeração a ar, e muito especialmente quando os cilindros são opostos, a refrigeração do óleo deve ser completada por meio de um radiador. Este é geralmente colocado na corrente do ventilador, antes da entrada dos cilindros do motor. Sem facilitar o aquecimento do óleo nos arranques, ele limita a elevação da temperatura.

SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO

Os sistemas de lubrificação tradicionais são os seguintes:

Por salpico; a bomba de óleo alimenta as cubas colocadas perto da passagem de cada biela; estas são munidas de uma colher (pescador) que apanha o óleo que passa pela cuba; por inércia, o óleo penetra em seguida na biela e lubrifica o moente.

Os mancais são diretamente alimentados por tubos que saem do coletor principal.

Com a lubrificação por salpico, a pressão fornecida pela bomba é pouco elevada: 0,1 a 0,4 bar (0,1-0,4 kg/cm²). O manômetro é graduado em metros de água (1 a 4m). Para facilitar a lubrificação, bielas e mancais devem possuir grandes ranhuras de circulação.

Por pressão; o virabrequim possui condutos especiais; o óleo chega aos mancais sob pressão, e daí é canalizado até aos moentes para lubrificar as bielas. Os mancais e as bielas não possuem ranhuras de lubrificação, exceto algumas câmaras de óleo curtas que não desembocam no exterior.

A pressão de lubrificação é de 1 a 3 bar (1-3 kg/cm²). Esta pressão impulsiona o óleo como uma cunha entre as superfícies a lubrificar, realizando assim o atrito fluido.

Freqüentemente, a cabeça da biela é munida de um pequeno orifício dirigido ao cilindro e destinado a lubrificar o pistão. Em alguns casos, uma canalização ao longo da biela permite, igualmente, assegurar uma melhor lubrificação do eixo do pistão.

Por projeção; esta disposição compreende a lubrificação sob pressão de todos os mancais e a lubrificação das bielas por um jato de óleo. cada biela tem uma colher; a rotação contra o jato intensifica a penetração de óleo no interior da biela.

Por outro lado, o jato de óleo sobre toda a cabeça da biela favorece a sua refrigeração. A pressão de lubrificação é de 1-3 bar (1-3 kg/cm²).

No motores de pouca cilindrada, a lubrificação por projeção é simplificada. O virabrequim aciona uma roda munida de palhetas. Esta roda está semi-submersa no óleo do cárter e sua orientação faz com que ela projete o óleo diretamente sobre a biela e no cilindro.

Por mistura; o óleo é misturado com o combustível e penetra no motor proporcionalmente ao consumo do mesmo. Este sistema de lubrificação não é apropriado aos motores a 2 tempos que funcionam com pré-compressão no cárter. a proporção do lubrificante em relação ao combustível é, geralmente, de 5%. Uma quantidade mais elevada leva a um entupimento das câmaras de explosão e de escape, assim como a um empobrecimento da carburação.

Por cárter seco; neste sistema de lubrificação, o óleo é contido num reservatório independente. Uma bomba leva o óleo do reservatório ao motor, introduzindo-o pressão nos elementos a lubrificar. Uma segunda bomba, chamada bomba de retorno, aspira o óleo que tende a acumular-se no fundo do cárter e remete-o ao reservatório.

Observações gerais. Seja qual for o sistema, a lubrificação dos cilindros é assegurada unicamente pelo óleo projetado pelas bielas em rotação. Quando se põe o motor frio em funcionamento, o óleo circula dificilmente e a lubrificação dos cilindros é insuficiente. No motores de lubrificação sob pressão, não circula nenhum óleo nos primeiros minutos de funcionamento. O salpico e a projeção efetuam com maior rapidez esta lubrificação dos cilindros.

Afora a lubrificação, a circulação de óleo deve garantir a refrigeração das bielas e do virabrequim. Partindo do tanque a 232 °K (50 °C), o óleo atinge de 353 a 393 °K (80 a 120 °C) quando sai das bielas. Num motor novo, as folgas estão no seu mínimo; o óleo circula com mais dificuldade e, portanto, refrigera mal as peças, havendo um maior risco de gripagem ou de fusão do metal antifricção.

CAPÍTULO 8 - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO (MOTORES OTTO) CARBURAÇÃO INJEÇÃO

INTRODUÇÃO

Requisitos de mistura. Em geral, a ótima razão ar/combustível com determinada velocidade do motor consiste naquela em que se consegue o conjugado desejado, ou pressão média efetiva no freio, com o menor consumo de combustível consistente com a operação normal e confiável. Essa ótima razão A/C não é constante, mas depende de muitos fatores.

Os requisitos de mistura para a partida e aquecimento o motor necessitará geralmente de mistura anormalmente ricas no dispositivo de alimentação, seja o carburador ou um sistema de injeção, afim de assegurar a mistura de queima nos cilindros. Assim, o sistema de alimentação deve estar apto a fornecer misturas muito ricas na partida e a razão A/C deve ser progressivamente reduzida a partir desse ponto, durante o período de aquecimento, até o motor funcionar satisfatoriamente com razões A/C normais de operação permanente.

O termo “aceleração”, com relação aos motores, é geralmente usado para caracterizar um aumento na velocidade do motor, resultante da abertura da válvula. O propósito imediato da abertura da válvula de aceleração, entretanto, é assegurar um aumento do conjugado, e dependerá da natureza da carga o aumento subsequente na velocidade.

Nos motores com carburador que usam combustível líquido, o processo de aceleração é complicado pela presença do combustível não evaporado no coletor de admissão. A investigação mostra que, durante a operação permanente normal com gasolina (ou álcool), o coletor de admissão contém uma grande quantidade de combustível líquido que adere à parede do coletor e escorre ao longo das mesmas até o cilindro, com uma velocidade bastante baixa comparada a do resto da mistura, que consiste em ar, vapor de combustível e gotículas entranhadas de combustível. Nas condições permanentes de operação com determinada velocidade, a quantidade de líquido contida no coletor, em qualquer momento, torna-se maior com o aumento da pressão no coletor. A principal razão para que altas pressões no coletor resultem em grandes quantidades de líquido deve-se ao fluxo de combustível aumentar com o aumento da densidade do ar, e a evaporação é mais lenta quando aumenta a pressão total.

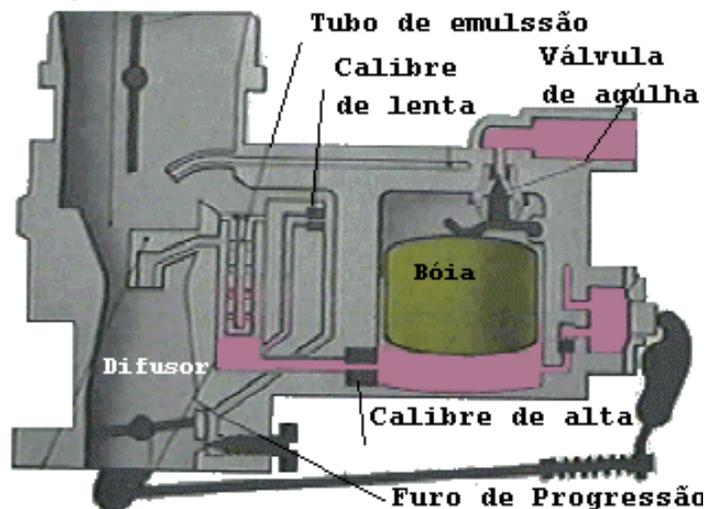
Quando a válvula está aberta para aceleração, aumentando a pressão no coletor, deve ser fornecido combustível para aumentar o conteúdo de líquido do coletor. Se o carburador fornece uma razão A/C constante, a razão que atinge o coletor está diminuindo durante o período em que o conteúdo de líquido está aumentando. Com a instantânea abertura da válvula de aceleração, a resultante redução na razão A/C recebida pelos cilindros pode ser tal que venha a ocorrer má queima, retrocesso de chama, ou mesmo completa parada do motor.

Para evitar uma mistura anormalmente pobre nos cilindros, resultante de rápidas aberturas da válvula de aceleração, é usualmente necessário aumentar a relação de suprimento pela injeção no coletor de uma quantidade de combustível conhecida como carga de aceleração. A injeção dessa carga deve ocorrer simultaneamente com a abertura da válvula. A ótima quantidade de carga de aceleração é aquela que resultará na razão A/C para melhor potência nos cilindros. Em geral, essa quantidade varia com a velocidade do motor e com a posição da válvula no início da aceleração, com a volatilidade do combustível, temperatura da mistura, e velocidade de abertura da válvula. Dessa forma, os carburadores são projetados para fornecer a quantidade necessária nas condições mais difíceis e, quando esta quantidade é muito grande, o erro será do lado rico da mistura de melhor potência, onde o sacrifício em potência é pequeno. Como a abertura parcial ou lenta da válvula de aceleração necessita de quantidade de mistura inferior à de completa aceleração, essa quantidade é

usualmente tomada como proporcional à razão de abertura da válvula e do ângulo correspondente ao movimento da válvula.

CARBURADOR BÁSICO

O elemento básico ou principal da maioria dos carburadores consiste em uma passagem de ar de geometria fixa, contendo uma restrição com a forma de ventúri. Na garganta do ventúri está localizado um injetor de combustível e este vem de uma câmara de bóia de nível constante, ou outro dispositivo de pressão constante. O fluxo de ar é controlado por uma válvula-borboleta a jusante do ventúri.



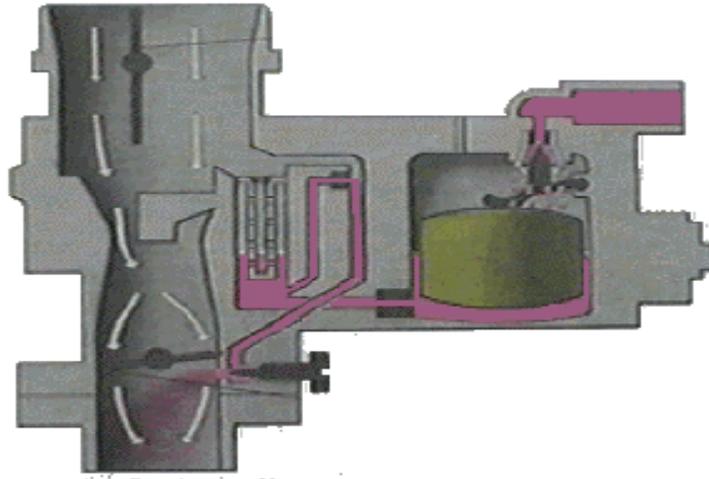
O ar atravessa uma passagem com a forma de ventúri, proveniente da admissão de ar. Essa forma é usada para diminuir a um mínimo a queda de pressão estática através do sistema. A diferença de pressão de estagnação na entrada de ar e a pressão estática na garganta do ventúri é usada para criar e regular a vazão de combustível. Na figura, a passagem de ar está na vertical, com escoamento para baixo, carburador de fluxo descendente. Muitos carburadores são dispostos de forma tal que o escoamento se processe de baixo para cima, carburadores de fluxo ascendente, e alguns têm passagem de ar na horizontal, carburadores de fluxo horizontal. Os princípios de operação entretanto, são os mesmos para qualquer direção do fluxo de ar.

A jusante do ventúri, na passagem de ar, encontra-se localizada uma válvula de borboleta, que, nos motores de ignição por centelha, é o principal elemento de controle de potência.

O combustível é introduzido no ar, na garganta do ventúri, por meio de um bocal, alimentado pela câmara de nível constante ou câmara da bóia, através de um orifício medidor de combustível. O nível de combustível na câmara da bóia é mantido constante por meio de uma válvula controlada pela bóia. A pressão acima do combustível é mantida igual a pressão total de admissão de ar, por meio de um tubo de impacto, que mede a pressão total, ou de estagnação, na entrada de ar.

SISTEMA DE MARCHA LENTA. O sistema usado para cobrir o requisito de mistura com baixas taxas de fluxo de ar é chamado de sistema de marcha lenta, ainda que ele possa influenciar a razão A/C em cargas bem superiores às de marcha lenta. A figura a seguir mostra um arranjo típico para um sistema de marcha lenta. O depósito de marcha lenta é uma passagem vertical ligada à câmara da bóia pelas partes superior e inferior. A conexão do fundo tem um orifício medidor com seção pequena. A passagem de marcha lenta tem uma abertura de descarga localizada próximo da aresta

da válvula de borboleta, quando esta se encontra na posição de fechada. A extremidade inferior aberta localiza-se próximo do fundo do depósito de marcha lenta. O tubo de ar de marcha lenta comunica-se com a passagem, cujo formato é apresentado na figura, e é controlado por uma restrição ajustável chamada de parafuso de ajustagem da marcha lenta.



Para marcha lenta na mais baixa rotação possível desejável, a válvula é ajustada de encontro a um esbarro ajustável tal que ela permanece aberta apenas o suficiente para permitir o fluxo de ar necessário. Nesse ponto, a aresta da válvula parcialmente encobre o bocal (injetor) de marcha lenta. Através da colocação adequada da saída do injetor em relação à válvula e por meio de ajustagem apropriada do parafuso regulador da marcha lenta, haverá suficiente sucção no tubo de marcha lenta para elevar o combustível a uma taxa tal que forneça a razão A/C exigida pela marcha lenta.

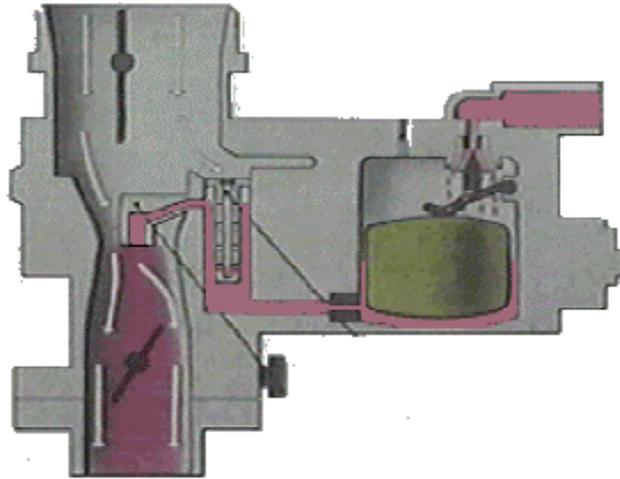
A abertura ulterior da válvula gradualmente expõe o injetor de marcha lenta à completa depressão no coletor de admissão, que pode chegar a 0.7 bar abaixo da pressão atmosférica em um motor em marcha lenta normal. Nesse ponto, a diferença de pressão entre as extremidades superior e inferior da passagem de marcha lenta é tão grande que ela drena o depósito de marcha lenta até o nível mostrado na figura anterior. A partir desse ponto, à medida que a válvula é aberta, haverá sempre suficiente sucção para manter o nível de combustível no depósito de marcha lenta no fundo do tubo de marcha lenta. A quantidade de combustível que escoar será constante e dependente da área e do coeficiente do orifício de combustível de marcha lenta e da altura de carga.

SISTEMA DE MARCHA ACELERADA. Ao abrir-se a borboleta do acelerador, aumenta-se o fluxo de ar através do pulverizador de compensação de ar. Em consequência do aumento da depressão no difusor, o combustível, depois de passar pelo pulverizador principal, faz subir o nível no poço de emulsão; ao mesmo tempo, o ar admitido no calibrador principal emulsiona o combustível, que será posteriormente pulverizado no difusor. Simultaneamente, diminui a depressão no furo de descarga do calibre de lenta e cessa o fluxo de combustível nesse ponto.

Para evitar qualquer empobrecimento indevido da mistura durante esta fase de transição, é usual existirem um ou mais orifícios de progressão que são alimentados pelo canal do circuito de marcha lenta.

Para fornecer o combustível adicional necessário na aceleração e nas aberturas súbitas da borboleta do acelerador existe uma bomba de aceleração mecânica. Esta consiste num poço (ou câmara) cheio de combustível e em um êmbolo acionado por uma mola ou um diafragma ligados à

borboleta. Quando esta se abre, o combustível é descarregado no difusor por ação de um injetor integrado no circuito da bomba.



Partida do motor frio. É necessário uma razão A/C rica, com uma proporção que varia de 1:1 e 3:1. Para conseguir esta proporção, fecha-se a borboleta do afogador.

Estando frios, o carburador e o coletor de admissão dão de certo modo origem à condensação do combustível nas paredes do coletor, dificultando seriamente a sua vaporização. Este fator e a maior densidade do ar frio, somados a lentidão das primeiras rotações, empobrecem a mistura.

Observação: **Tubo de emulsão.** O emulsionador é formado por dois tubos, um no interior do outro. O combustível penetra nestes tubos antes de passar para a corrente de ar principal, no difusor. A medida que aumenta o número de rotações do motor, o ar admitido por um pulverizador de compensação, ou calibrador de ar, penetra no tubo interior, que apresenta orifícios a diferentes níveis, ficando a mistura mais pobre.

SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA DE COMBUSTÍVEL

Os sistemas eletrônicos de injeção de combustível apresentam duas vantagens principais sobre os sistemas mecânicos: dispõem de grande número de dispositivos de alta sensibilidade para fornecer sempre aos cilindros a quantidade precisa de combustível e não requerem um distribuidor mecânico de alta precisão.

Estas vantagens são evidentes nos sistemas eletrônicos mais utilizados, que operam em pressões de combustível mais baixas que os sistemas mecânicos (1.75 a 2.1 bar). O sistema é equipado com uma bomba de combustível elétrica que aspira combustível do reservatório num nível superior ao que é necessário para a injeção. O combustível em excesso retorna para o reservatório através de um regulador de pressão que evita a possibilidade de formação de bolhas de ar e de vapor de combustível.

O injetor mantém-se fechado sob a ação de molas e são acionados por solenóides. O volume de combustível injetado depende do tempo durante o qual o solenóide mantém o injetor aberto. Este tempo, por sua vez, depende de um sinal que o solenóide recebe do sistema de processamento eletrônico.

Este sistema de processamento eletrônico está ligado a uma série de dispositivos sensíveis que atuam segundo diversas condições preestabelecidas do motor, tais como pressão do ar no coletor, as temperaturas do ar admitido e do sistema de refrigeração, umidade do ar, o nível de aceleração. Existem, ainda, sensores que atuam sobre as condições da combustão por exemplo, sensores de detonação. Estes dispositivos permitem ao sistema de processamento determinar instantaneamente o momento de abertura dos injetores, a razão da mistura, o avanço ou atraso da ignição, etc.

A grande vantagem do sistema eletrônico de injeção de combustível está na rapidez de resposta às condições de trabalho do motor. Isto proporciona alto nível de confiabilidade, controle apurado sobre os gases de descarga (redução dos níveis de poluição) uma vez que permite uma melhor queima da mistura, além é claro, de melhor rendimento não apenas em termos de potência, mas também em termos de consumo.

Atualmente são utilizados dois tipos básicos de sistemas de injeção de combustível: os sistemas que utilizam apenas um injetor (single-point), e os sistemas que operam com um injetor para cada cilindro (multi-point). Nos dois casos os sistemas de monitoramento do motor são semelhantes.

Obviamente obtém-se melhores resultados nos sistemas "multi-ponto" (multi-point), devido a melhor distribuição da mistura A/C, praticamente não existe perda de carga devido ao atrito dos coletores, tendo em vista a que o combustível é injetado na janela de admissão, assim como os problemas decorrentes da condensação do combustível nos coletores.

Por outro lado, os sistemas baseados em um único injetor proporcionam um ótimo rendimento se comparado com os sistemas convencionais de alimentação (carburadores) pelos motivos já abordados e se comparados com os sistemas multi-ponto oferecem um custo inferior.

PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA DE INJEÇÃO

Bico injetor. Controla o volume de combustível. Atua através de comandos enviados pela "unidade comando eletrônico".

Regulador de pressão. Atua como limitador de pressão de combustível de 1 a 2 bar, permitindo o retorno de combustível em excesso para o reservatório.

Bomba de combustível. Possui acionamento elétrico. Sua operação independe da rotação do motor, mantendo assim o sistema sem flutuações de pressão.

Bobinas de ignição. Em geral, para cada dois cilindros é instalada uma bobina controlada pelo sistema de eletrônico de ignição e pela "unidade comando eletrônico". Nestes casos dispensa o distribuidor.

Atuador de marcha lenta. Tem a função de controlar a vazão de ar em regime de marcha lenta, permitindo assim controle da rotação em qualquer instante de funcionamento do motor.

Unidade de Comando Eletrônico. É o centro de operação de todos os componentes do sistema de alimentação de combustível. Tem a função de monitorar e analisar os dados enviados pelos sensores, sinalizando ao injetor e em alguns casos ao sistema de ignição as condições de trabalho solicitadas pelo motor.

COMBUSTÃO EM MOTORES OTTO

COMBUSTÃO NORMAL: Se o combustível tiver o índice de octanas adequado a taxa de compressão do motor, a centelha que salta entre os eletrodos das velas de ignição inicia a combustão e a chama se propaga progressivamente através da mistura A/C comprimida, fazendo com que esta se expanda gradativamente, exercendo uma força uniforme sobre a cabeça do êmbolo.

CONDIÇÕES:

- tenha início no local correto, isto é, entre os eletrodos das velas
- ter início no momento correto, isto é, determinado pelo ponto de ignição
- desenvolvimento gradual
- duração pré-determinada

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA CHAMA (VPC). É a composição da velocidade de combustão, que é a velocidade da reação química de oxidação do combustível, com a velocidade de translação, que é a velocidade de avanço da frente de chama.

Comportamento da VPC durante a combustão:

- **início** - VPC baixa, devido a necessidade de vencer a inércia da combustão
- **durante** - VPC alta
- **fim** - VPC baixa, devido a pequena quantidade de combustível ainda a ser queimado, e/ou a pequena quantidade de ar para combinar com o combustível

COMBUSTÃO ANORMAL

IGNIÇÃO SUPERFICIAL. Tem origem nos chamados pontos quentes ou incandescentes (válvula de descarga, eletrodos das velas, isoladores das velas, depósitos de carvão são os mais comuns). São pontos quaisquer dentro da câmara de combustão, que atingem uma temperatura tal, que o ponto passa a dar origem a uma combustão, isto é, inflamam a mistura antes ou depois de saltar a centelha.

Se a ignição superficial acontecer antes da centelha é chamada de pré-ignição, se acontecer após a centelha é chamada pós-ignição.

A ignição superficial se auto-alimenta, isto é, conforme o surgimento de um ponto quente outros terão origem.

A ignição superficial poderá dar origem a detonação, explosão da mistura por efeito de pressão. O inverso também pode ocorrer.

É possível evitar a detonação utilizando motores com menor taxa de compressão, mistura mais pobre, melhor refrigeração, ou através de sistemas que aumentem a VPC, como por exemplo: turbulência.

CAPÍTULO 9 - MOTORES DIESEL

COMBUSTÃO EM MOTORES DIESEL

Embora as reações químicas, durante a combustão, sejam indubitavelmente muito semelhantes nos motores de ignição por centelha e nos motores Diesel, os aspectos físicos dos dois processos de combustão são bastante diferentes.

No motor de ignição por centelha em operação normal, o combustível está substancialmente no estado gasoso e o combustível, o ar e os gases residuais estão uniformemente misturados, no instante da ignição. A ignição ocorre em um ou mais pontos fixos e a um ângulo de manivela sujeito a controle preciso. A ignição é seguida pelo espalhamento de uma frente de chama definida, através da mistura, com velocidades mensuráveis. Exceto em um ponto da ignição ou em uma zona de detonação, a combustão, em qualquer ponto dado da mistura, é iniciada por meio de transferência de energia, ou de partículas energizadas, de um elemento adjacente que já está queimando; o período de combustão depende da taxa de ocorrência dessa transferência.

No motor Diesel, o ar, diluído por uma pequena fração de gás residual, é comprimido até uma relação de volume de 12 a 20, e o combustível, líquido, é borrifado no cilindro próximo ao ponto morto superior do pistão.

Como a pressão e a temperatura dos gases contidos no cilindro são muito elevadas no instante de injeção, alguma reação química, sem dúvida, tem início logo que a primeira gota de combustível entre no cilindro. Entretanto essa reação química começa de forma tão lenta que as manifestações usuais de combustão, a saber, a aparição de uma chama visível ou de uma elevação de pressão mensurável, ocorrem apenas após um período apreciável, chamado de período de atraso. Assim, para os motores Diesel, é conveniente definir-se a ignição como o momento em que aparece uma chama observável, ou quando a pressão começa a se elevar apreciavelmente devido à combustão.

DEFINIÇÕES

Período de injeção. Período que decorre do início da pulverização no cilindro e o final do escoamento do bocal.

Ângulo de injeção. Ângulo de manivela entre o início e o fim da injeção.

Período de atraso. Período entre o início da injeção e o surgimento da primeira chama ou da elevação de pressão.

Ângulo de atraso. Ângulo de manivela correspondente ao período de atraso.

AS TRÊS FASES DA COMBUSTÃO

Imagina-se a combustão em motores Diesel como ocorrendo em três estágios (Ricardo - Combustion in Diesel Engines, 03/1930), sendo o primeiro o período de atraso. O atraso é sempre grande, tal que, ao ocorrer a ignição, existe apreciável quantidade de combustível evaporado e dividido, bem misturado com o ar. Uma vez inflamado, este combustível tende a queimar-se rapidamente, devido a multiplicidade de pontos de ignição e à alta temperatura já existente na câmara de combustão. Considera-se esse período de rápida combustão como a segunda fase do processo. Após o período de combustão rápida, o combustível que ainda não foi queimado, juntamente com qualquer combustível subsequente injetado, queima com determinada taxa, controlada principalmente por sua habilidade de encontrar o oxigênio necessário para a combustão. Esta é a terceira fase da combustão.

Período de atraso. O período de atraso nos motores Diesel, freqüentemente chamado de atraso da ignição, corresponde aparentemente ao período de reações preliminares que ocorrem antes da aparição da chama na auto-ignição das cargas pré-misturadas. É aceito que o período de atraso nos motores Diesel pode incluir um período de aquecimento das gotículas de combustível, antes da ocorrência de qualquer reação química. Na avaliação dessa teoria, entretanto, deve-se lembrar que cada gotícula é envolvida pelo vapor, imediatamente após sua entrada na câmara de combustão. Por essa razão, parece que as reações devem iniciar-se no vapor que envolve as superfícies da gota quase simultaneamente à entrada de cada gota no cilindro. Tal visão é suportada pelo fato de que grandes variações nesses fatores, que deveriam afetar o período de aquecimento, tais como mudanças na espessura do jato de pulverização ou na volatilidade do combustível, tem pequeno efeito sobre o atraso.

Estudos sobre a combustão das gotículas de combustível no ar indicam que a ignição tem início na camada de vapor que envolve a gotícula, e que a taxa de combustão das mesmas é limitada por sua taxa de evaporação. A taxa de queima decresce com o decréscimo da fração de oxigênio no ar envolvente. Estas observações ajudam a explicar a ocorrência da combustão Diesel antes da evaporação completa das gotas.

Atraso da ignição nos motores. Através de experiências pode-se deduzir que, com dado combustível, o principal fator que influencia o atraso é a temperatura média dos conteúdos do cilindro durante o período de atraso. Nos motores, entretanto, existe outra influência forte sobre o atraso, a saber, o choque do jato de pulverização sobre as superfícies quentes. Se essas superfícies estão suficientemente quentes, pode-se obter reduções significativas no atraso.

Período de combustão rápida. A combustão, no período de combustão rápida, decorre principalmente da queima do combustível que teve tempo de se evaporar e se misturar com o ar durante o período de atraso. A taxa e extensão da queima durante este período são proximamente associados com a extensão do período de atraso e sua relação com o processo de injeção.

Terceira fase da combustão. É o período que vai da máxima pressão até o ponto em que a combustão é mensuravelmente completa.

Quando o ângulo de atraso é maior que o ângulo de injeção, o terceiro período de combustão envolverá apenas o combustível que não encontrou o oxigênio necessário durante o período de rápida combustão. Nesse caso, a taxa de combustão é limitada apenas pelo processo de mistura. Isso, por sua vez, é controlado pela relação entre o oxigênio e o combustível não-queimado e pela maneira como ambos são distribuídos e misturados no final do segundo período. Ainda que todo o combustível seja injetado bem antes do final do período de atraso, as características de injeção pobre podem estender o terceiro período razoavelmente no curso de expansão, provocando baixa potência e eficiência pobre.

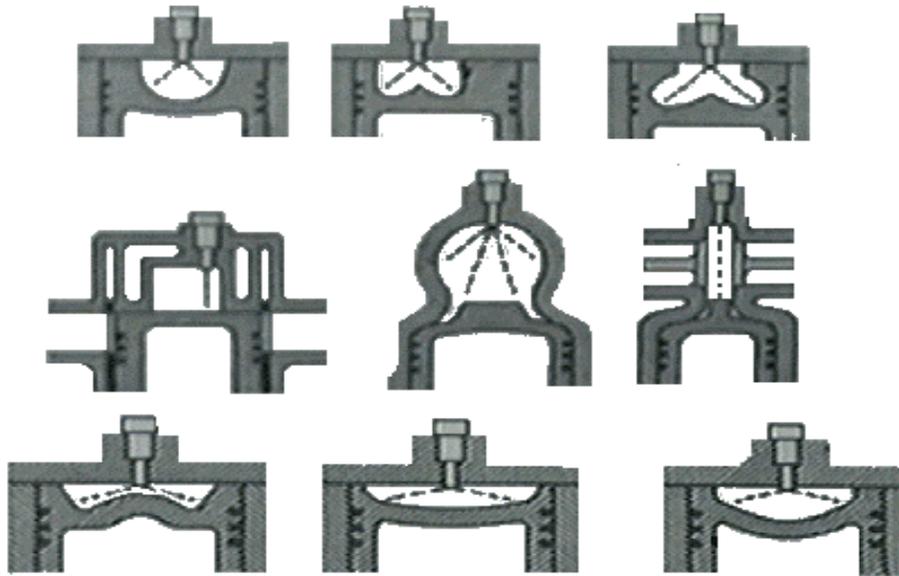
Turbulência. A resposta à velocidade do motor no segundo e terceiro estágios da combustão está provavelmente associada à turbulência da carga, como no caso da propagação da chama na ignição por centelha. Entretanto, no caso dos motores Diesel o efeito da turbulência deve estar mais associado ao processo de mistura do que à propagação da reação química. Nos caso em que a combustão tem início cedo, no processo de injeção, no uso de um forte turbilhonamento, para provocar alta velocidade do ar, através da pulverização, provou ser bastante efetivo em assegurar certos estágios de combustão - segundo e terceiro.

PROJETO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO NOS MOTORES DIESEL

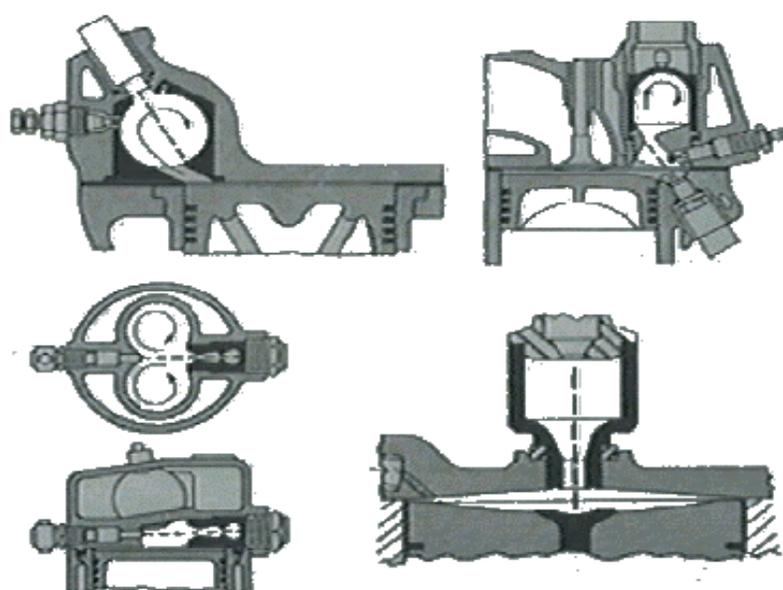
O processo de combustão no motor Diesel deveria ser controlado para evitar excessiva pressão máxima no cilindro e excessiva taxa de elevação de pressão, em termos de ângulo de manivela. Ao mesmo tempo, o processo deve ser tão rápido que, substancialmente, todo o combustível é queimado cedo no curso de expansão.

Para se chegar a estes objetivos, é conveniente dividir os motores Diesel em dois tipos:

Motores de câmara aberta. É aquele em que o espaço de combustão não incorpora restrições suficientemente pequenas para provocar grandes diferenças de pressão entre as diferentes partes da câmara durante o processo de combustão. Neste tipo, a mistura de combustível e ar depende inteiramente das características de pulverização e do movimento do ar, e não é vitalmente afetada pelo processo de combustão em si.



Câmaras de combustão divididas. É aquela em que o espaço de combustão é dividido em dois ou mais compartimentos distintos, entre os quais existem restrições, ou gargantas, pequenas o suficiente para que ocorram diferenças de pressão consideráveis entre eles durante o processo de combustão. Quando a queima do combustível inicia em uma câmara separada do pistão por meio de uma garganta, os motores de câmara dividida são freqüentemente chamados de motores de pré-câmara.



São características importantes dos motores com pré-câmara como as a seguir enumeradas:

- . Velocidade do ar extremamente alta através da garganta durante o curso de compressão, com turbulência intensa resultante e, também, na maioria dos casos, redemoinho na antecâmara;
- . O primeiro e o segundo estágios da combustão podem ser forçados a ocorrer em um espaço cuja estrutura é tão forte que pressões bem maiores e taxas de elevação de pressão mais altas podem ser toleradas nesse espaço, em comparação às permissíveis no espaço sobre o pistão;
- . O processo de mistura pode ser bastante acelerado pelos primeiros estágios do processo de combustão em si. Com elevadas pressões de A/C, a combustão é incompleta na antecâmara, devido ao ar insuficiente, e a alta pressão desenvolvida na primeira parte da combustão projeta o combustível não queimado, juntamente com os primeiros produtos da combustão, à outra parte da câmara com velocidades muito altas, provocando assim a rápida mistura com o ar no espaço sobre o pistão;
- . É usualmente possível permitir a toda a (ou parte da) da antecâmara operar a temperaturas muito elevadas, tendendo a reduzir o atraso, comparadas com as dos motores de câmara aberta que usam o mesmo combustível.

Comparação das câmaras de combustão. As principais vantagens atribuídas às câmaras divididas em comparação às abertas, são as seguintes:

- . uso de combustíveis de qualidades de ignição piores;
- . uso de injetores de furo simples, pressões de injeção moderadas e tolerância maior a incrustações no injetor;
- . emprego de razões A/C mais altas sem apresentar fumaça;

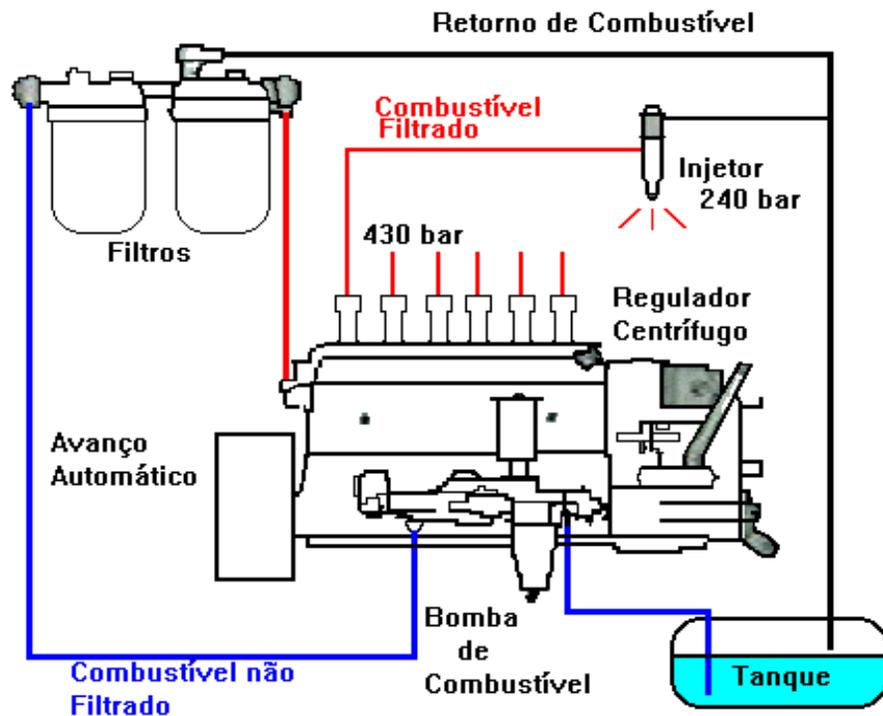
Contra estas vantagens, verificam-se as seguintes desvantagens:

- . construção dispendiosa do cilindro e/ou cabeçote;
- . partida a frio mais difícil, devido à maior perda de calor através da garganta;
- . pior economia de combustível devido às maiores perdas de calor e perdas de pressão através da garganta, que resultam em eficiência térmica mais baixa e maiores perdas de bombeamento.

SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO POR INJEÇÃO DE COMBUSTÍVEL

O motor de ciclo Diesel difere do motor de ciclo Otto basicamente em dois pontos: local de formação da mistura, feita no interior do cilindro, e o princípio de ignição, que é obtida por auto-ignição. Isso ocorre quando o combustível é injetado na câmara de combustão e encontra o ar aquecido.

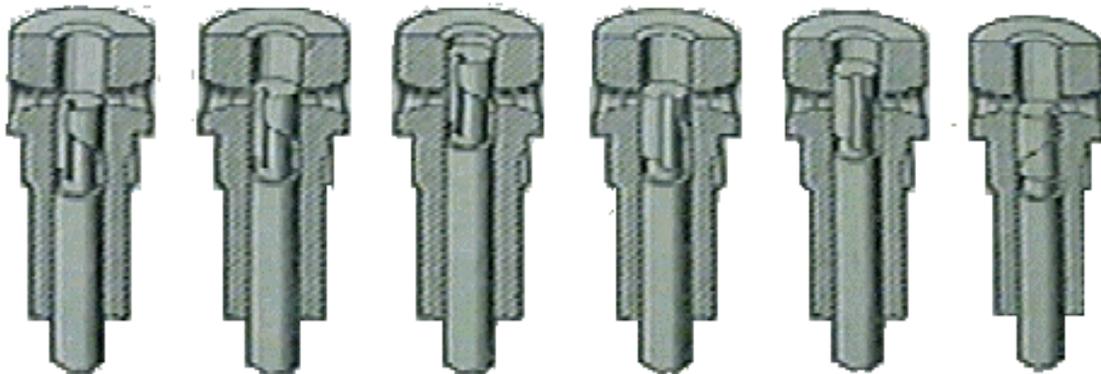
Sistema de injeção. Tem a função de fornecer a quantidade máxima de combustível necessária ao máximo rendimento do motor a cada instante.



Bomba de injeção. Mede exatamente a quantidade de diesel necessário para se obter o rendimento máximo em cada instante e envia esse combustível para os injetores a uma pressão determinada.

A bomba de alimentação envia o combustível à câmara de aspiração. Cada cilindro da bomba está em comunicação com a câmara de aspiração que fornece o combustível através de orifícios. O impulsor é acionado pelo excêntrico, obrigando o êmbolo a elevar-se. Ao subir, o êmbolo fecha o orifício de entrada de combustível. Neste instante começa a injeção de óleo através da válvula de descarga para o tubo que conduz ao injetor. Esta válvula está calibrada para abrir-se no momento que há pressão suficiente afim de que o combustível seja injetado no cilindro.

A quantidade de combustível que a bomba fornece ao motor é controlada fazendo rodar ligeiramente o êmbolo dentro do cilindro. Isto é possível, graças a um pinhão ligado a uma cremalheira, que por sua vez está ligado ao acelerador e ao regulador automático de velocidades.



O regulador automático de velocidades permite que a bomba envie para os injetores a quantidade de combustível requerida pela carga do motor a cada instante, para que o rendimento seja máximo, mas ao mesmo tempo impede que seja ultrapassada a velocidade de rotação determinada pelo projeto do motor. O regulador automático atua com o acelerador, mas sem interferir com ele.

São três os tipos principais de reguladores: os centrífugos ou mecânicos, os pneumáticos ou de vácuo e os hidráulicos.

Injetores. Tem a função de pulverizar o combustível e distribuí-lo na câmara de combustão. Podem ser de orifício único ou de multi-orifícios. A utilização de um tipo ou outro depende basicamente do desenho da câmara de combustão.

CAPÍTULO 10 - SISTEMA DE IGNIÇÃO

Num motor de combustão interna de ignição por centelha, a inflamação da mistura carburada é produzida por uma faísca que sai entre os dois eletrodos da vela.

Para que haja faísca, isto é, para que a corrente atravessasse a mistura fortemente comprimida, é necessário que uma tensão de 6.000 a 12.000 volts seja desenvolvida.

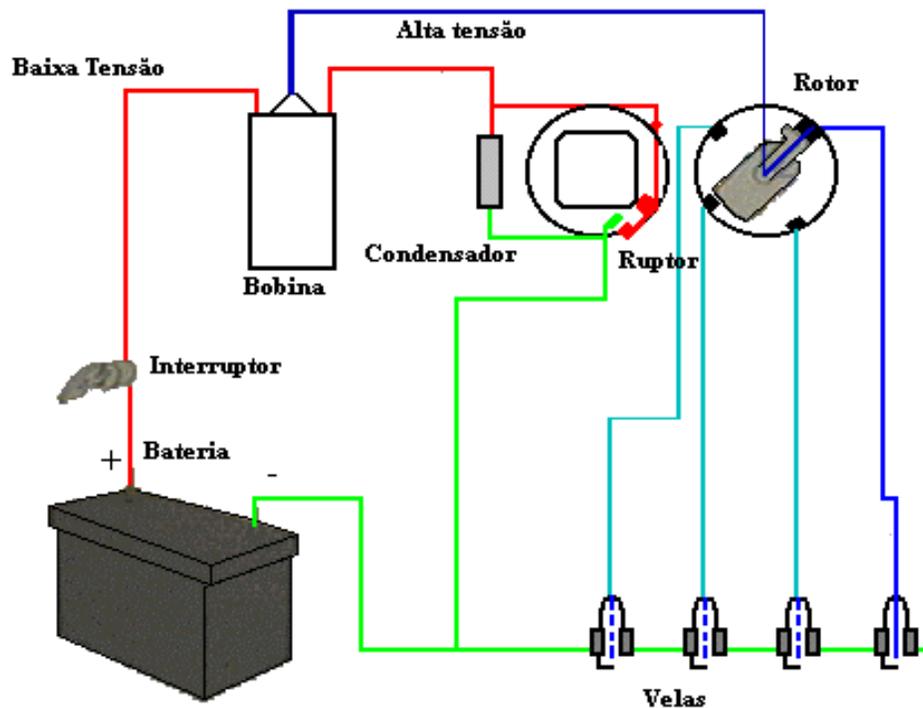
Esta corrente de ignição pode ser produzida de dois modos diferentes:

- 1) Com a ajuda de um sistema de ignição por bateria. É um conjunto de aparelhos utilizando a corrente fornecida pela bateria de acumuladores (6 ou 12 volts). Esta corrente de bateria é transformada em corrente de alta tensão e, depois, distribuída às velas do motor.
- 2) Com a ajuda de um sistema de ignição por magneto. O magneto é um aparelho que transforma a energia mecânica em energia elétrica a alta tensão, assegurando igualmente a distribuição desta corrente às velas do motor.

IGNIÇÃO POR BATERIA

Este sistema compreende os aparelhos principais seguintes:

- a bobina de ignição,
- o ruptor,
- o distribuidor.



O ruptor e o distribuidor formam um todo chamado dispositivo de ignição, ou cabeça de ignição.

O dispositivo de ignição por bateria é formado por dois circuitos distintos: o circuito primário e o secundário.

CIRCUITO PRIMÁRIO. Este circuito é alimentado pela corrente de bateria (6 ou 12 volts). A corrente parte do borne +, passa pelo contato do painel, pelo enrolamento primário da bobina, pela lingüeta do ruptor e pelas massas do ruptor, do motor, do chassi e retorna à bateria pelo borne - (borne de massa).

A bateria forma gerador; o enrolamento da bobina de ignição forma receptor. Todos os outros elementos do circuito são condutores.

O condensador é ligado entre a entrada ao ruptor e a massa. Fica em derivação.

O ruptor possui uma ou várias lâminas (lingüetas), cujo levantamento provoca a interrupção do circuito primário. Os contatos são de tungstênio para resistir às pequenas faíscas provenientes do afastamento dos mesmos. O comando do ruptor gira sempre à metade da velocidade do motor no ciclo a 4 tempos. Podem ser concebidos diferentes sistemas de ruptores:

- 1) o número de cames é igual ao de cilindros com uma só ou duas lingüetas, funcionando exatamente em conjunto;
- 2) o número de cames é igual ao de cilindros com um ruptor auxiliar de nova ligação, desde que o ruptor principal tenha provocado a ruptura: a duração da corrente primária é, assim, aumentada, o que mantém uma boa ignição nos altos regimes;
- 3) o número de cames é igual à metade do de cilindros; duas lingüetas funcionam alternadamente, e cada uma delas provoca a ignição de uma parte dos cilindros;
- 4) o número de cames é igual ao de cilindros; as lingüetas são duplas, e cada uma delas funciona em um circuito de ignição diferente; é a ignição dupla.

Os cames são adicionados por intermédio de um dispositivo centrífugo. Este dispositivo aumenta o avanço à ignição, proporcionalmente à velocidade de rotação do motor.

Certos ruptores possuem um corretor de avanço a depressão. Este aparelho é formado de uma membrana em relação com a base do ruptor. A membrana provoca o deslocamento desta base e modifica, assim, o momento de ignição. O corretor retarda a ignição quando o enchimento do cilindro é máximo; avança ligeiramente a ignição quando este enchimento é mínimo.

O dispositivo centrífugo tem uma ação principal; dá uma amplitude de variação do ponto de ignição de 20 a 35°. O corretor tem uma ação secundária de 8 a 15°, ele corrige o efeito do dispositivo centrífugo.

SATURAÇÃO DA BOBINA DE IGNIÇÃO. Esta expressão designa a intensidade máxima do fluxo magnético no núcleo da bobina. Para que esta forneça uma potência de ignição máxima, é preciso que ela funcione próxima da saturação.

Praticamente, não se pode medir a saturação magnética da bobina. Em compensação, chega-se a uma aproximação suficiente, medindo a intensidade da corrente no circuito primário.

Para uma bobina de 12 volts, esta intensidade deve ser:

- de 2A, motor em marcha reduzida;
- de 1A, motor acelerado a 3500 rpm, aproximadamente.

Em todos os sistemas de ignição por bateria, a corrente primária diminui de intensidade com o aumento de regime do motor. Este fenômeno prejudica a potência de ignição, porque diminui a saturação da bobina a grandes velocidades. Para corrigir este defeito, regula-se o ruptor de modo a obter um ângulo de contato tão elevado quanto possível.

CIRCUITO SECUNDÁRIO. A corrente de alta tensão tem origem no enrolamento secundário da bobina, no momento exato em que o fluxo magnético cessa. Há uma duração extremamente breve.

A saída do enrolamento, a corrente passa ao distribuidor e atinge o rotor de distribuição, cuja posição, neste momento, deve corresponder exatamente ao ponto de contato ligado à vela do cilindro pronto para a ignição. Do eletrodo central da vela, a corrente atravessa a mistura carburada, provocando a inflamação desta, e, depois, atinge o eletrodo de massa, a massa do motor, a massa do chassi e toma uma parte do circuito primário para atingir as primeiras espiras do enrolamento secundário.

O enrolamento secundário funciona como gerador; o espaço entre os eletrodos da vela forma o receptor.

No momento da indução no enrolamento secundário, a tensão aumenta, até que a resistência da mistura, comprimida entre os eletrodos da vela, seja vencida.

É neste momento que se estabelece o circuito e que sucede a ignição.

O circuito de alta tensão exige um isolamento perfeito, desde a saída da bobina até à extremidade interna da vela.

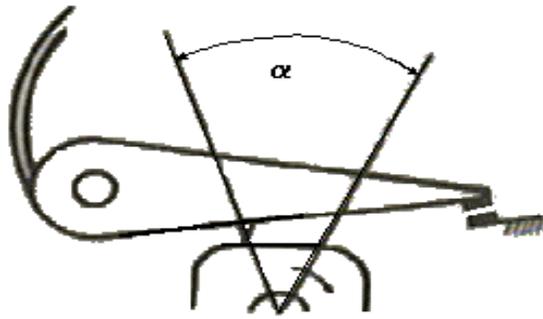
O rotor do distribuidor apresenta uma particularidade: a sua extremidade metálica não entra em contato com os pontos de contato de distribuição. Passa perto destes contatos, e a corrente deve atravessar o espaço de 0,4 a 0,8 mm que os separa. Produz-se, então, uma faísca neste lugar; fica em série sobre o circuito de ignição, e tem por consequência melhorar a faísca que surge dos eletrodos da vela. Baseando-se no mesmo princípio, tentou-se melhorar ainda a ignição instalando um dispositivo de explosão na entrada de cada vela. Uma solução mais simples consiste em instalar um só dispositivo de explosão no cabo que liga a bobina ao distribuidor; o mesmo dispositivo funciona, assim, para todos os cilindros.

REGULAGEM DO ÂNGULO DE CONTATO (ÂNGULO DE CAME). Designa-se com os termos de ângulo de contato ou ângulo de came o ângulo de rotação do came do ruptor durante o qual os contatos se tocam e permitem a passagem da corrente primária na bobina de ignição.

Para garantir uma ignição suficiente nos altos regimes de rotação, o ângulo de contato deve ser de 30 a 40°. É regulado por modificações do afastamento dos contatos do ruptor. Diminuindo-se o afastamento, aumenta-se o ângulo de contato.

A medida do ângulo de contato pode ser feita utilizando uma lâmpada piloto, ligada entre o borne de entrada da corrente primária ao ruptor e a massa. Rodando lentamente o motor, a lâmpada apaga no momento em que os contatos se tocam e depois acende logo que se afastam. Basta medir, com um transferidor, o ângulo descrito pelo came entre a extinção e o acendimento da lâmpada.

O ângulo de contato pode igualmente ser medido por meio de um aparelho elétrico especial, que se liga entre a massa e o borne de entrada ao ruptor. A medida efetua-se no motor em marcha a qualquer regime. É interessante controlar o ângulo a baixo regime, depois a alto. Se o ângulo diminui em alta velocidade, deve-se deduzir que a mola da lingüeta é suficiente. O contato é estabelecido com um atraso tanto maior quanto mais elevado é o regime. O ruptor deve ser substituído. Um ruptor em bom estado deve assegurar um ângulo de contato invariável para todos os regimes de utilização do motor.



Ângulo de Contato

ÂNGULO DE CONTATO EM DWELL

Certas características de regulagem do ruptor são dadas em Dwell, em vez de ser indicado o ângulo de contato. Estes dois valores não devem ser confundidos.

O ângulo de contato indica a rotação do came entre o fechamento do ruptor e a sua abertura, isto é, o ângulo percorrido enquanto o circuito primário é estabelecido.

A indicação em Dwell é um valor relativo. Indica em % a rotação do came durante a ligação do circuito primário em relação à sua rotação de uma ruptura à outra.

Exemplos:

Num motor de 4 cilindros, o came provoca uma ruptura no circuito primário a todos os 90°. Se o ângulo de contato for de 45°, o número Dwell será de

$$(45 \times 100)/90 = 50 \text{ Dwell}$$

Num motor de 6 cilindros, o came provoca uma ruptura do circuito primário a todos os 60°. Se o ângulo de contato for de 36°, o número Dwell será de

$$(36 \times 100)/60 = 60 \text{ Dwell}$$

Num motor de 8 cilindros, o came provoca uma ruptura a todos os 45°. Se o ângulo de contato for de 32°, o número Dwell será de

$$(32 \times 100)/45 = 71 \text{ Dwell}$$

Como muitos aparelhos de regulação são estabelecidos para a medida do ângulo de contato em graus, e como os novos dados de regulação são indicados em Dwell, passa-se ao antigo valor multiplicando o ângulo de rotação entre cada ruptor α pelo número Dwell sobre 100.

ângulo em graus = $(\infty \times \text{Dwell}) / 100$

IGNIÇÕES TRANSISTORIZADAS (IGNIÇÃO ELETRÔNICA)

Este termo designa os dispositivos de ignição por bateria que utilizam os novos materiais "semicondutores" como meios de comando do circuito primário da bobina. O transistor é o elemento essencial do dispositivo. É completado por diodos, funcionando como elementos de segurança, e por resistências de proteção, limitando a intensidade máxima de corrente ou provocando quedas de tensão intermédias.

O diodo é constituído por um material cuja característica é a de deixar passar a corrente elétrica num sentido, mas não em sentido inverso. Funciona como uma válvula de bomba.

O diodo Zener tem as mesmas características, apresentando, no entanto, também, a vantagem de só bloquear a passagem de corrente em sentido inverso até uma certa tensão. Acima desta tensão, permite a passagem em sentido inverso. O diodo Zener atua, portanto, como uma válvula de segurança; limita a tensão de um circuito a um valor exato que não deve ser ultrapassado. É utilizado para evitar qualquer sobretensão do circuito primário que poderia resultar de fenômenos parasitas devido à auto-indução.

Todos os diodos, incluindo os Zener, possuem dois bornes de ligação.

O transistor é um dispositivo mais complexo que os diodos. Possui um conjunto de semicondutores diferentes, combinados de modo a interromper, normalmente, a passagem da corrente. Para que se dê passagem de corrente, é necessário submeter a parte central do transistor a uma tensão intermédia da tensão nominal do dispositivo. Se a parte central está em tensão nominal, ou mesmo em tensão nula, a passagem da corrente no transistor é interrompida. O transistor tem, portanto, o papel de uma válvula ou de um comutador elétrico, e, isto, sem nenhum movimento mecânico.

O transistor é utilizado como relé para o fechamento e a abertura do circuito primário da bobina. Pode-se, igualmente, funcionar como amplificador de corrente e como oscilador para a ignição eletrônica.

O tiristor, ou diodo de desengate, é semelhante ao transistor, mas as suas características são particulares. A base é substituída por um eletrodo de inflamação. Logo que este eletrodo é excitado por uma breve impulsão elétrica, o circuito estabelece-se definitivamente. A corrente circula, então, até se anular; é necessário que a tensão de alimentação se anule para que o tiristor bloqueie de novo o circuito.

O tiristor é comparável ao "tiratron" utilizado nos circuitos eletrônicos. Ambos desempenham a mesma função, isto é, o bloqueio da corrente até que uma impulsão elétrica no borne de excitação destes desengate a passagem da corrente sobre o circuito principal. Contudo, o tiratron é uma lâmpada, enquanto que o tiristor é um composto sólido de diversos materiais semicondutores.

OBSERVAÇÃO IMPORTANTE

Todos os elementos indicados anteriormente tem por base materiais semicondutores (à exceção do tiratron, que é um tubo eletrônico). Os semicondutores apresentam a vantagem de ser

compactos, imóveis e pequenos. São, portanto, suscetíveis de substituir, com muita vantagem, os condutores, os relés eletromagnéticos, os contatos mecânicos e os ruptores de qualquer espécie.

Tipos de ignições transistorizadas

A ignição clássica por bobina e ruptor mecânico apresenta dois defeitos essenciais que limitam o seu funcionamento em altos regimes de rotação.

1. A inércia da lingüeta torna difícil o apoio permanente da escova sobre o perfil ressaltado do came, em grandes velocidades. Segue-se uma diminuição do ângulo de contato e, como consequência, uma magnetização insuficiente da bobina. A potência da ignição diminui consideravelmente.

2. A intensidade do corrente primária deve permanecer bastante fraca, 2 a 3 ampéres, de modo a evitar a destruição prematura das superfícies do ruptor. Esta fraca intensidade necessita que se adote uma bobina de maior número de espiras primárias; ora, as espiras em grande número retardam, por auto-indução, o restabelecimento da corrente a cada fechamento do ruptor. Assim, a bobina funciona a alto regime, a uma intensidade bastante mais fraca.

Os diferentes tipos de ignição transistorizados corrigem os defeitos anteriormente citados. O ruptor funciona com uma intensidade muito reduzida (0,5 A), o que permite uma entrada em circuito muito rápida; a bobina apropriada possui menos espiras primárias, daí uma auto-indução menor e uma intensidade de corrente mais elevada, 6 a 8 ampéres.

Substitui-se o ruptor mecânico de certos aparelhos por um dispositivo magnético que fornece as impulsões necessárias para provocar o funcionamento dos transistores.

Ignição por magneto

O magneto reúne, em um só aparelho, todos os elementos de ignição por bateria. A bobina é construída especialmente e forma o induzido do magneto.

Este induzido comporta, um núcleo de ferro doce, um enrolamento primário e um outro secundário. O induzido e um outro secundário. O induzido gira no fluxo magnético de um ou de vários ímãs fixos. Esta rotação produz, a cada semi-rotação uma diminuição e, depois, uma inversão do fluxo magnético que atravessa o induzido.

A diminuição do fluxo magnético no núcleo cria, por indução, uma corrente elétrica no enrolamento primário. Esta corrente atinge o ruptor pelo parafuso central de fixação e depois atinge a massa pelos contatos e alcança o enrolamento primário no centro do induzido. Esta corrente primária tende a manter o fluxo magnético no núcleo. Mas, neste instante, a lingüeta do ruptor é levantada; a corrente primária, assim interrompida, leva a uma queda do fluxo magnético e depois sua inversão, sob a influência dos ímãs fixos. Esta brusca inversão magnética gera, por indução, uma breve corrente de alta tensão no enrolamento secundário.

O enrolamento secundário é ligado ao coletor. Uma escova de carvão conduz a corrente ao rotor de distribuição, de onde esta atinge a vela pelo contato correspondente. O circuito fecha-se em seguida pela massa do motor, a massa do magneto, a massa do induzido e o enrolamento primário, até à união com a entrada do enrolamento secundário.

Para evitar uma sobretensão no circuito secundário, o magneto possui, por vezes, um arco de sobrecarga (dispositivo de explosão à massa). A distância das pontas do arco de sobrecarga determina, diretamente, a tensão máxima que pode suportar o circuito secundário.

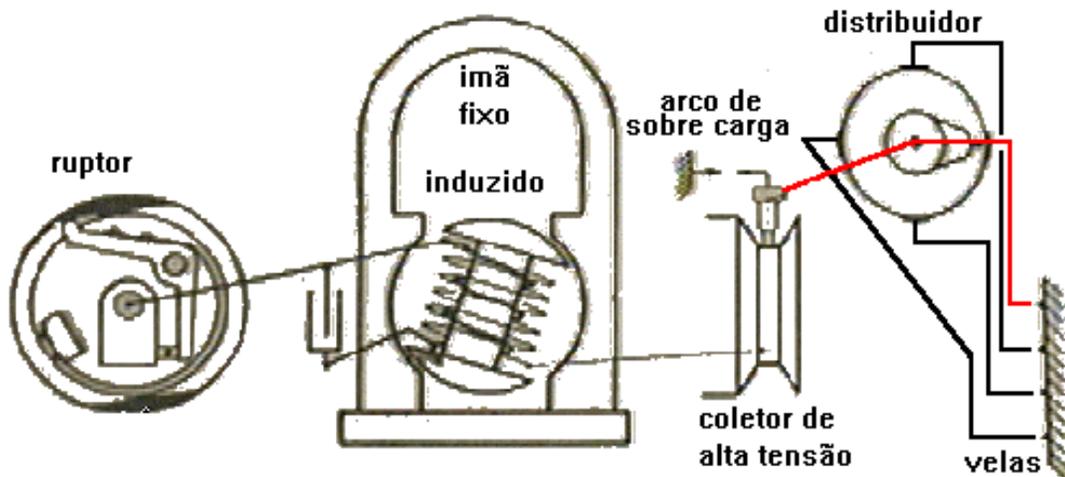
Quando esta tensão se torna muito elevada, a corrente é absorvida pelo arco de sobrecarga.

O circuito primário do magneto comporta, igualmente, um condensador embutido no interior do induzido. O papel do condensador é o mesmo que no sistema de ignição por bateria.

A produção da corrente no magneto só sucede no momento da inversão do fluxo magnético. Um magneto de dois pólos fornece, portanto, duas faíscas por rotação. Um magneto de quatro pólos fornece quatro por rotação.

Como cada vez o fluxo magnético muda a direção no núcleo do induzido, a corrente fornecida pelo magneto muda de sentido, a cada indução. As saídas dos circuitos primário e secundário são, alternadamente, positivas e negativas. Esta particularidade não tem efeitos práticos apreciáveis. No entanto, a corrente alternada no circuito primário fatiga muito menos os contatos do ruptor que a corrente contínua dos sistemas de ignição por bateria. Os contatos de ruptor para magnetos são de platina; este metal, mais mole que o tungstênio, convém melhor às condições de funcionamento dos magnetos.

Nos magnetos comuns, o rotor de distribuição comporta um carvão de atrito, efetuando um contato perfeito com os contatos de saída das velas.



VELAS DE IGNIÇÃO

A vela provoca a ignição pela explosão da corrente através da mistura carburada comprimida entre os seus eletrodos. A mistura carburada oferece uma resistência importante à passagem de corrente. esta resistência será tanto maior quanto mais afastados estiverem os eletrodos, quanto mais rica for a mistura carburada e quanto mais elevada for a compressão. Para explodir entre os eletrodos da vela, a corrente deve, no mínimo, atingir uma tensão de 6.000 volts. Os aparelhos de ignição podem fornecer uma tensão que atinja até 15.000 volts. Algumas bobinas especiais atingem 35.000 volts.

O eletrodo central da vela é isolado, de modo a poder suportar estas tensões elevadas.

O isolante de porcelana (esteatita ou silimanita) é o mais empregado; ele suporta bem as temperaturas de câmara de combustão dos motores comuns, mas tende a apresentar rupturas quando de aquecimentos bruscos.

O isolante de mica suporta temperaturas muito mais elevadas. É especialmente insensível a bruscas variações de temperatura. Encontra-se nas velas de motores potentes.

O isolante é fixado no suporte da vela por um parafuso (velas desmontáveis), ou por encaixe (velas não desmontáveis).

A extremidade dos eletrodos é composta por uma liga de tungstênio que resiste à temperatura do arco elétrico.

Em funcionamento, a parte interna da vela deve atingir uma temperatura de cerca de 573° K (300 °C). Esta temperatura permite:

- 1) aquecer a mistura carburada situada nas proximidades dos eletrodos, de modo a produzir uma detonação que repercute através da massa de gás, no momento da ignição.
- 2) queimar todas as partículas de carbono e os vestígios de carburante e lubrificante que porventura se tenham depositado nos eletrodos. Assim, o eletrodo central permanece limpo, e o isolante interno seco.

Quando a temperatura da vela é muito baixa, a ignição é fraca; o entupimento dos eletrodos leva rapidamente ao curto-circuito e à supressão de ignição.

Quando a temperatura da vela é muito elevada, produz-se uma auto-ignição da mistura gasosa durante a compressão. Esta ignição prematura provoca uma diminuição de potência, uma fadiga exagerada dos elementos mecânicos e um funcionamento difícil do motor.

ESCOAMENTO TÉRMICO. Esta expressão designa a possibilidade que a vela tem de desprender o calor acumulado no seu cone central em cada explosão.

O desprendimento deste calor depende do caminho a percorrer para atingir o suporte roscado da vela, das paredes do cilindro e do sistema de arrefecimento.

Quando o caminho a percorrer é longo desprende-se lentamente, o eletrodo central aquece-se facilmente. Diz-se que a vela é quente.

Quando o caminho a percorrer é curto, o calor desprende-se rapidamente; o eletrodo central aquece com dificuldade. Diz-se que a vela é fria.

A faculdade de escoamento térmico das velas representa a sua característica essencial. Esta característica determina, diretamente, o funcionamento da vela, e é indicada por um coeficiente de resistência à auto-ignição, ou por um número que faz parte de uma série previamente adotada pelo fabricante para a designação de suas velas.

O tipo de motor e a posição da vela no seu cilindro influenciam a temperatura de funcionamento de uma vela.

Um motor de regime rápido necessita de velas frias (escoamento térmico rápido), de modo que o eletrodo central não ultrapasse a temperatura normal de funcionamento.

Um motor de regime lento precisa de velas quentes, de modo que o eletrodo central atinja, pelo menos, a temperatura normal de funcionamento.

Um motor bem arrefecido necessita de velas mais quentes que um motor que funciona a temperatura elevada.

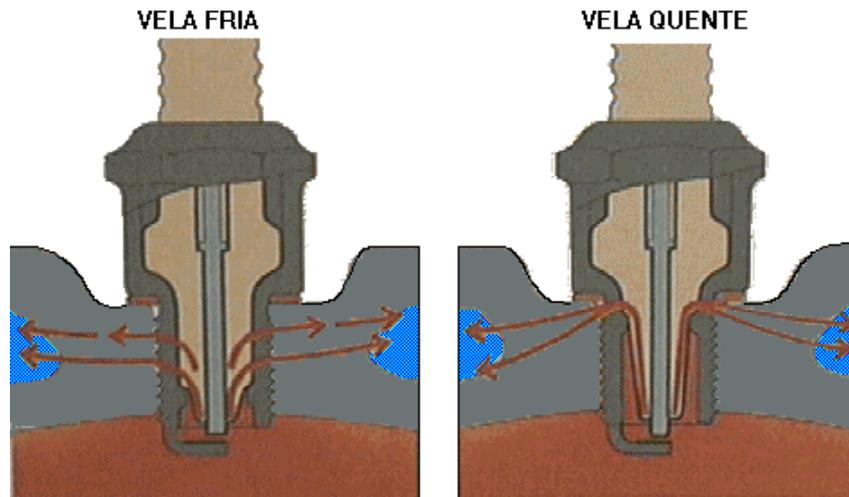
Um motor pouco comprimido exige velas mais quentes que um motor comprimido ao limite máximo.

As condições de emprego do motor influenciam, igualmente, a temperatura das velas.

O afastamento dos eletrodos influencia, igualmente, a temperatura de funcionamento da vela. Um grande afastamento tende a aumentar esta temperatura.

A regulagem dos eletrodos de velas é importante para obter uma marcha correta do motor. Os eletrodos de massa devem apresentar uma larga superfície paralela ao eletrodo central, para que o desgaste seja mínimo.

O afastamento dos eletrodos determina o calor da faísca e, portanto, a eficácia da ignição. Um grande afastamento (0,8 a 1 mm) dá uma ignição potente, mas necessita de uma tensão elevada e de um isolamento perfeito de todo o circuito secundário.



CAPÍTULO 11 - POTÊNCIA E RENDIMENTO

A energia mecânica desenvolvida por um motor é medida com precisão num banco de testes. É igualmente possível calcular esta energia com uma certa aproximação tendo em conta as particularidades do motor considerado. Em ambos os casos, determina-se a quantidade de trabalho mecânico efetuada em um dado tempo. Do resultado obtido, deduz-se a potência.

De início, recordemos que o trabalho mecânico é sempre composto dos dois fatores seguintes:

- 1) uma força que se mede em newtons (N) e que atua por impulso ou por tração;
- 2) um deslocamento do ponto de ação desta força. Este deslocamento é medido em metros na direção em que a força provoca o movimento.

O produto dos valores destas duas grandezas fornece a quantidade de trabalho efetuado em joules. O joule (J) é a unidade do trabalho mecânico: $N \times m = J$ (antigamente $kg \times m = kgm$).

10 J representa o trabalho efetuado por uma força de 10 N, produzindo um deslocamento de 1 m na direção em que a força atua. Isso pode ser o trabalho efetuado por uma força de 20 N, produzindo um deslocamento de 2 m.

Calculemos, a título de exemplo, o trabalho fornecido pelo pistão de um motor que recebe durante o seu curso motriz um impulso médio de 1800 N. Admitindo um curso do pistão de 80 mm (0,08m), o trabalho efetuado a cada explosão será de:

$$1800 \text{ N} \times 0,08 \text{ m} = 144 \text{ J}$$

Este impulso de 1800 N, atuando sobre uma distância de 0,08 m, produz um trabalho equivalente a um impulso de 144 N, atuando sobre uma distância de 1 m.

Num motor, o impulso que atua sobre o pistão é determinado pela pressão dos gases durante a explosão e, depois da explosão, durante a expansão. Durante a explosão, a pressão eleva-se até 40 bar, depois baixa rapidamente no início e mais lentamente em seguida, até o fim do curso do pistão. No momento da abertura de escape, a pressão no cilindro não passa de alguns bar. O impulso recebido pelo pistão é, portanto, variável, e o trabalho fornecido varia a cada posição do pistão. O cálculo de trabalho que um pistão dá a cada milímetro do seu curso é demasiado longo para efetuar-se na prática. Medem-se todas as variações de pressão por meio do indicador de Watt, e o diagrama fornecido por este aparelho permite estabelecer uma pressão média. É a pressão média indicada que permite calcular o trabalho real fornecido pelo pistão durante o seu curso motriz.

Mas uma parte do trabalho fornecido pelo pistão é absorvida pelos atritos internos do motor, pelos tempos mortos, pelos efeitos de inércia etc. O trabalho efetivo disponível à saída do virabrequim é, portanto, mais fraco que o trabalho real fornecido pelo pistão.

Para calcular o trabalho efetivo disponível no virabrequim, adota-se uma pressão média mais fraca que a pressão média indicada. É a pressão média efetiva, que varia conforme os motores, o número de rotações e a relação volumétrica.

A pressão média efetiva P_m permite, então, calcular o trabalho efetivo fornecido pelo motor. Este trabalho é tanto maior quanto maior é a superfície S do pistão, quanto mais longo é o curso s e quanto mais elevado é o número de cilindros.

Exemplo: Que trabalho fornece, a cada curso motriz, um pistão de 56,5 mm (5,65 cm) de diâmetro, efetuando um curso de 70 mm (0,07 m) sob uma pressão média de 8 bar (kg/cm²)?

Superfície do pistão: $= \Pi \cdot d^2/4$

Impulso = $\Pi \cdot d^2 \cdot p_m/4$

Trabalho = $\Pi \cdot d^2 \cdot p_m \cdot s/4 = 3,14 \cdot 5,65^2 \cdot 8 \cdot 0,07/4 = 140$ J em antigas unidades de trabalho: 14 kgm.

POTÊNCIA DOS MOTORES

POTÊNCIA EFETIVA. A potência de um motor é determinada pela quantidade de trabalho que aquele pode fornecer em um segundo, isto é, pelo número de joules (J).

A unidade de potência atual é o quilowatt (kW) ou o watt para os motores pequenos.

Para calcular a potência de um motor, basta calcular a quantidade de trabalho que este é capaz de fornecer em 1 segundo. Esta quantidade de trabalho obtida em joules por segundo será transformada em W ou em kW, conforme a equivalência destas unidades.

$$1 \text{ J/s} = 1 \text{ W};$$

$$1000 \text{ J/s} = 1 \text{ kW};$$

$$1000 \text{ J/s} = 1,36 \text{ C.V. nas antigas unidades ou } 1 \text{ C.V.} = 736 \text{ J/s.}$$

Exemplo de cálculo da potência efetiva de um motor monocilíndrico 80 x 90 girando a 4200 rpm com uma pressão média de 9,5 bar (impulso 95 N por cm²):

$$\text{trabalho de uma explosão} = 3,14 \cdot 8^2 \cdot 9,5 \cdot 0,09/4 = 430 \text{ J};$$

$$\text{trabalho por segundo} = 430 \times 4200/60 \times 2 = 15050 \text{ J/s.}$$

(2) denominadores para motor a 4 tempos, 1 explosão a cada 2 rotações

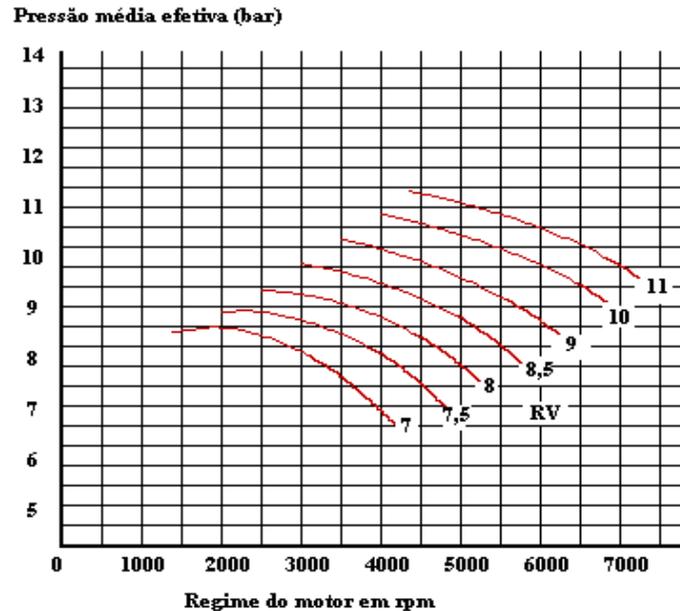
$$\text{Potência} = 15050/1000 = 15,03 \text{ kW.}$$

Praticamente, a potência efetiva de um motor em novas unidades (kW) tem como valor os três quartos da potência em C.V.. Um motor de 80 C.V. tem uma potência de 60 kW.

Podemos resumir todas as operações do cálculo da potência efetiva do motor em uma só fórmula:

$$P_e = \Pi \cdot d^2 \cdot p_m \cdot s \cdot n \cdot l \cdot 10/4 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 1000$$

onde d designa o diâmetro do cilindro em cm, P_m a pressão média em bar, s o curso do pistão em m, n o regime do motor em rotações por minuto, l o número de cilindros e $\Pi = 3,14$. O numerador 10 transforma a pressão média dada em bar, de modo a efetuar um impulso médio em newtons por cm²; o denominador 1000 permite obter o resultado em kW.



Testes do freio

A potência efetiva desenvolvida por um motor mede-se por meio de um freio. O freio compreende sempre duas partes essenciais:

uma parte móvel ligada ao motor e acionada por este último;

uma parte fixa provida de um dispositivo de frenagem que atua diretamente sobre a parte móvel. Um sistema de regulagem permite modificar a eficácia da frenagem.

A parte fixa é montada sobre um eixo de oscilação (braço de alavanca de um metro). É estabilizada por uma carga variável por meio de contrapeso e de uma mola tarada.

Durante a frenagem, a parte fixa tende a ser acionada pela parte móvel. Aquela levanta o contrapeso e atua sobre a mola até à obtenção de uma posição de equilíbrio. Conhecendo, então, o valor dos contrapesos em kg, conhece-se igualmente o esforço desenvolvido pelo motor à periferia do dispositivo de frenagem. Este esforço tangencial denomina-se torque motor.

Tipos de freios para teste de motores

O **freio de Prony** é formado por um simples tambor metálico frenado por sapatas de madeira. A sua regulagem é delicada; varia constantemente, e o aquecimento das sapatas necessita de uma irrigação contínua e desagradável para os operadores. Este freio é utilizado apenas para testes de fraca potência.

O **freio Froude** é um freio hidráulico. É composto por uma turbina que gira num cárter vedado, munido de chicanas internas, e ligado aos contrapesos. Sob o efeito da turbina, a água atua sobre o cárter e tende a acioná-lo.

Varia-se a eficácia da frenagem modificando as possibilidades de reação da água sobre as chicanas do cárter.

O freio Froude não atua nos regimes de marcha reduzida. Permite, portanto, parar o motor, e pô-lo novamente em marcha, conservando sempre uma determinada posição da frenagem.

O **freio elétrico** é constituído por um simples dínamo fixado a uma estrutura rígida. Mede-se a tensão e o débito da corrente produzida; deduz-se o número de watts, e, em seguida, tem-se a potência em kW. Mas o rendimento do dínamo não é constante. Varia conforme o número de rotações por minuto e o número de watts produzidos. Cada medida deve ser corrigida por um fator de rendimento diferente que se marca sobre um gráfico dado pelo fabricante do dínamo.

As variações de frenagem são obtidas modificando a corrente de excitação por meio de um reostato.

O **freio eletrodinamométrico** é igualmente constituído por um dínamo.

Mas o estator deste dínamo é montado sobre um eixo oscilante, e é ligado igualmente a uma carga de contrapeso completada por um dinamômetro.

A reação magnética do induzido tende a acionar o estator; o esforço de acionamento (torque) é medido em quilos pelos contrapesos e pelo dinamômetro.

O rendimento do dínamo não entra em conta.

Modifica-se a eficácia da frenagem por uma mudança da corrente de excitação como no caso precedente.

Este tipo de freio é recente, e é de manobra simples e precisa. Pode, por outro lado, funcionar como motor de lançamento e de acionamento para a rodagem do motor a frio. Permite medir as resistências internas do motor funcionando ociosamente, e dando, assim, indicações exatas sobre as condições de funcionamento das superfícies de atrito.

O **freio a corrente de Foucault** é constituído por dois discos de função girando na frente das extremidades de potentes eletroímãs. Estes últimos são solidários a uma estrutura móvel cujo deslocamento é controlado por um dispositivo de mola tarada. O motor aciona os dois discos, excitando os eletroímãs, obtém-se um fluxo magnético fixo, que cria nos discos rotação importantes correntes elétricas (correntes de Foucault). A reação destas correntes tem por efeito frear a rotação dos discos, provocando uma tração nos eletroímãs. Variando a importância da excitação, varia-se a eficácia da frenagem. O regime do motor e o esforço (torque) registrado pela mola tarada permitirão calcular a potência fornecida pelo motor. Nos freios utilizados atualmente, o torque desenvolvido pelo motor é indicado em antigas unidades isto é, em mkg. Basta multiplicar o valor por 10 para obter-se o torque motor em novas unidades, metro Newton, mN.

CURVAS DE POTÊNCIA

Qualquer que seja o tipo de freio empregado, o motor é sempre testado com o acelerador aberto, a potência máxima. Regulando a eficácia da frenagem, pode-se diminuir a velocidade de rotação do motor até o travar completamente ou deixá-lo embalar-se ociosamente.

Para conhecer as características exatas de um motor, mede-se a sua potência em diversos regimes de rotação. Começa-se pelos baixos regimes (1000 rpm) e sobe-se de 250 em 250 rotações, por exemplo, até ao regime máximo, a partir do qual a potência começa a diminuir.

Os resultados obtidos permitem traçar a curva de potência do motor. Traça-se geralmente também a curva do torque. O torque é indicado em mN. É o esforço desenvolvido pelo

motor na circunferência de um círculo de 1 m de raio cujo centro de rotação se situa sobre o eixo do virabrequim.

O torque tem por valor:

Torque = $mN \cdot n / 10 \times 1000$ onde o torque = $kW \times 10000 / n$ em mN.

Atualmente, tende-se a dar mais importância ao torque motor que à potência. De fato, o torque motor depende diretamente do impulso transmitido pelos pistões ao virabrequim. Ele informa, portanto, de modo preciso, sobre o enchimento dos cilindros e sobre a força explosiva da carga aspirada.

Constata-se que esta carga é máxima para um regime relativamente baixo e que ela diminui com o aumento do regime. Ora, o motor será tanto mais capaz de subir as rampas em marcha direta (relação de transmissão 1:1) quanto mais inclinada para a direita for a curva de seu torque. De fato, como em rampa a velocidade diminui tal como o regime do motor, o torque motor vai aumentar.

A curva de potência é o resultado do torque motor em mN (mkg) e da velocidade em rpm. Constata-se que ela atinge o seu máximo a um regime relativamente elevado.

Nos regimes baixos, a potência desenvolvida é relativamente fraca; o torque é importante, mas a velocidade em rpm é fraca.

Nos regimes médios, o torque diminui ligeiramente, mas a velocidade aumentou fortemente; a potência é nitidamente mais elevada.

Nos regimes de potência máxima, a curva torna-se horizontal. O torque diminui fortemente, e esta diminuição é completamente compensada pelo aumento do regime. A potência estabiliza-se.

A um regime mais elevado, a diminuição do torque é tão importante que o aumento da velocidade não a compensa mais. A potência diminui.

O regime de potência máxima é considerado regime normal do motor.

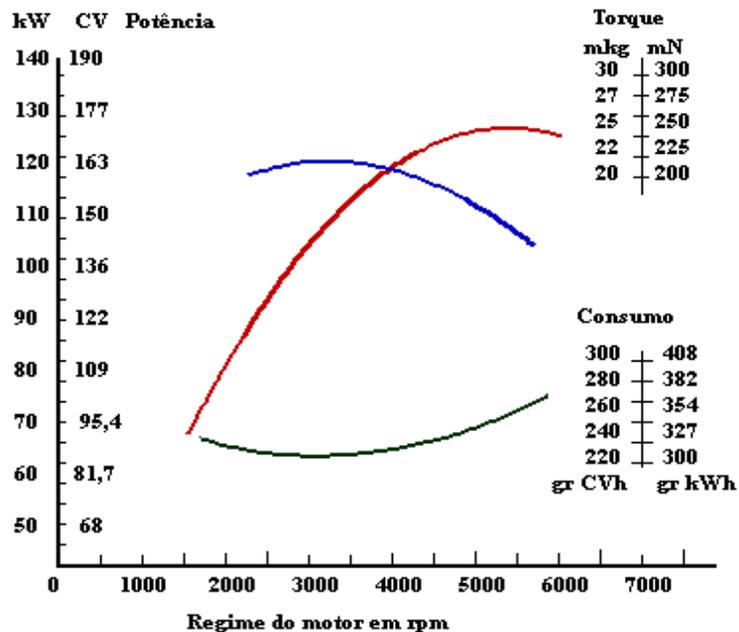
Praticamente, interessa permanecer ligeiramente abaixo.

O regime do torque máximo é considerado o regime inferior limite para a marcha a plena admissão.

Durante os testes do freio, mede-se com exatidão o consumo do carburante. Conhecendo a potência desenvolvida, deduz-se o consumo em gramas por kWh (CVh). A curva de consumo informa sobre os regimes econômicos do motor.

O consumo de um motor a gasolina é de 300 a 400 g/kWh (200 a 300 g/CVh).

O de um motor Diesel é de 250 a 360 g/kWh (170 a 240 g/CVh).



RENDIMENTOS DOS MOTORES

Rendimento global ou total

Chama-se rendimento de um motor a relação entre potência mecânica desenvolvida à saída do virabrequim e a que lhe é fornecida sob a forma de carburante.

Um grama de gasolina tem um poder calorífico de 11000 calorias (pequenas calorias).

Ora, uma caloria transformada totalmente em trabalho mecânico fornece 4,185 J, ou seja, uma força de 1 Newton (N), provocando um deslocamento de 1 m.

Um motor que consome 340 g de gasolina por kWh recebe por segundo uma energia de

$$340 \times 11000 \times 4,185/3600 = 4348 \text{ J/s}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}$$

$$1 \text{ KW} = 1000 \text{ J/s.}$$

Este motor recebe, sob forma de carburante uma energia calorífica capaz de fornecer 4348 J/s; e rende 1000 J/s.

O seu rendimento térmico é de

$$1000 \times 100/4348 = 23\%$$

Observações: O cálculo do rendimento de um motor pode ser feito com base no seu consumo por hora ou por segundo. Como os catálogos dos motores indicavam sempre, antigamente, o consumo em g por H.P./hora, era lógico calcular o rendimento a partir deste valor e em relação ao H.P./hora.

Com as novas unidades MKSA convém calcular o rendimento na base do consumo por segundo. A unidade de trabalho (J) é dez vezes menor que o (kgm) e a unidade de calor (cal) é mil

vezes menor que a (kcal), pelo que, calculando por hora, ter-se-ão valores extremamente elevados e pouco comuns na prática. Aliás, sendo a nova unidade de potência dos motores, o kW, correspondente a 100 J/s, é mais simples calcular o rendimento sobre esta base de tempo.

O rendimento de um motor de ciclo Otto funcionando a gasolina é em média de 21 a 25%. O de um motor de ciclo Diesel pode atingir mais de 35%.

A energia total desenvolvida pela combustão da gasolina no motor de ciclo Otto distribui-se do seguinte modo:

32% sob forma de calor gasto pelo sistema de arrefecimento dos cilindros;

35% sob forma de calor retirado pelos gases de escape;

8% sob forma de energia mecânica absorvida pelos atritos internos do motor;

25% sob forma de energia mecânica disponível na extremidade do virabrequim.

Rendimentos volumétricos (potência por litro)

Para comparar os motores entre si, relaciona-se muitas vezes a sua potência efetiva à unidade de cilindrada expressa em litros, ou seja:

$$\text{potência/cilindrada} = \text{potência por litro}$$

Nos primeiros motores atingiam 5 C.V.(3,6 kW) por litro.

Este valor era baseado na potência nominal utilizada ainda hoje em vários países. Os motores modernos desenvolvem entre 30 kW(40 C.V.) e 37 kW(50 C.V.) por litro, e mais de 80 kW(100 C.V.) para os motores de alto rendimento.

Estes aperfeiçoamentos resultam principalmente no aumento dos regimes de rotação, da diminuição de peso das peças móveis e da qualidade do carburante.

Para comparação mais exata das vantagens da execução mecânica dos motores, é preciso determinar a potência por litro milhares de rpm, ou seja:

$$\text{potência/cilindrada} \times \text{regime} = \text{Potência por litro por 1000 rpm.}$$

Os valores atuais situam-se entre 5 e 9 kW por litro/1000 rpm, ou seja, entre 7 e 12 C.V..