

Capítulo VI

COMBUSTÍVEIS

6.1 - Generalidades

Origem. Quase todos os combustíveis usados nos motores de combustão interna são derivados do petróleo, o qual é uma mistura complexa de hidrocarbonetos.

Existem suposições que tentam explicar o aparecimento do petróleo na terra, mas nenhuma delas está completamente definida. De uma maneira geral supõe-se que tenha origem orgânica por causa de hidrocarbonetos existentes, se bem que não se saiba explicar bem como foi libertado o oxigênio desses compostos orgânicos.

Cracking. É inteiramente possível, se bem que não econômico, converter quase todo o petróleo cru em gasolina e óleo diesel. Como existe demanda de outros derivados de petróleo, é interessante a produção dos mesmos.

O primeiro estágio da refinação de petróleo consiste em passá-lo numa torre de destilação, onde é separado em diversos derivados nos diversos pratos de acordo com a temperatura. A fração mais elevada é a gasolina.

Como cada um dos derivados recolhidos em cada um dos pratos não é simples mas sim uma mistura de componentes, a sua temperatura de vaporização não é cons

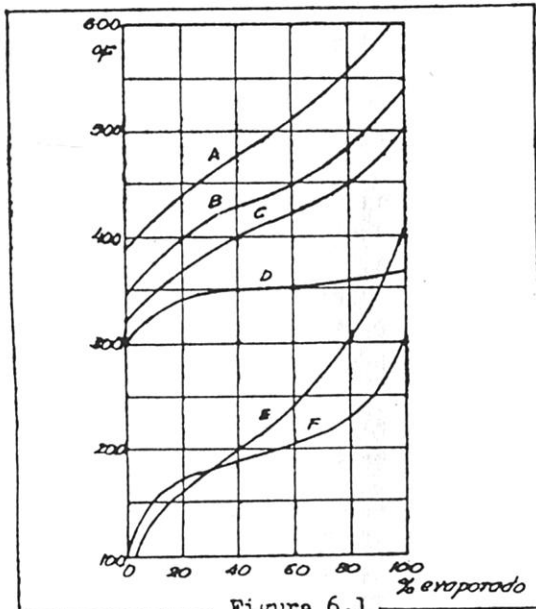


Figura 6.1

tante.

A fig. 6.1 mostra as curvas de vaporização de alguns combustíveis para motores de combustão interna.

- A - óleo Diesel
- B - destilado leve (p/diesel rápidos e jatos)
- C - querosene
- D - combustível de aviação de baixa volatilidade
- E - gasolina de automóvel
- F - gasolina de aviação.

Se se atendesse a demanda de gasolina pelo processo de destilação simplesmente, haveria um estoque muito grande dos outros derivados. Por essa razão uma boa parte da gasolina é produzida pelo cracking, o qual consiste na decomposição das moléculas de hidrocarbonetos em compostos menos complexos de menor ponto de ebulição. Atualmente o cracking envolve também composição de compostos em outros mais pesados, porém é possível fazer estes passarem novamente pelo processo.

O cracking pode ser térmico ou catalítico, feito com auxílio de um catalizador como a mistura de sílica, alumina e óxido de níquel. Embora o cracking catalítico seja mais caro, ele é usado porque fornece uma gasolina de melhor qualidade.

6.2 - Gasolina. Curvas de volatilidade

O teste D86-40 da ASTM se aplica para determinação da volatilidade de querosene, gasolina e derivados de petróleo similares. É o seguinte o teste: Aquecendo-se um recipiente que contém uma quantidade conhecida de combustível, condensando-o depois e medindo-se a temperatura do frasco quando caírem as primeiras gotas e também quando se tiver 5, 10, 15%, etc. condensado, teremos as curvas de volatilidade ar-combustível. A temperatura de vaporização varia, pois o combustível é composto de vários hidrocarbonetos.

Durante o processo há perda de combustível que se admite ser a primeira fração vaporizada (v. fig. 6.3) e no fim do processo resta no frasco um certo resíduo que não vaporizou. Essas duas porções estão representadas na figura 6.3.

A presença de aditivos, como o chumbo tetraetila, é desprezível neste teste.

Porém o teste da A.S.T não representa exatamente o que ocorre nos motores porque nestes a vaporização se dá em presença de ar e o teste é feito em presença do vapor do próprio combustível.

Teste que simula melhor as condições dos motores é o de Bridgeman e ... Brown denominado EAD (equilibrium air distillation), que funciona de acordo com a fig. 6.4. Na serpentina A passam quantidades conhecidas de ar e combustível que são mantidas em temperatura constante pelas serpentinas B e C. Em D o combustível não vaporizado pode ser medido. Conhecendo-se o total tem-se por diferença o que foi vaporizado.

Repetindo o processo em cada temperatura para uma

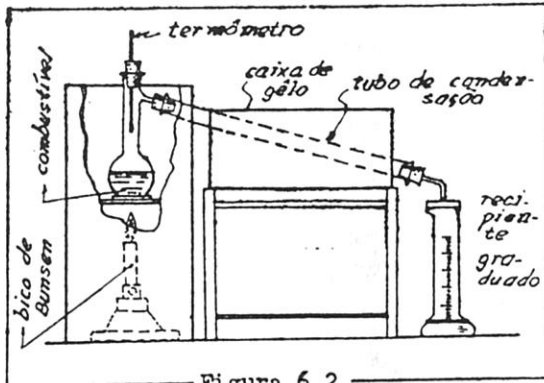


Figura 6.2

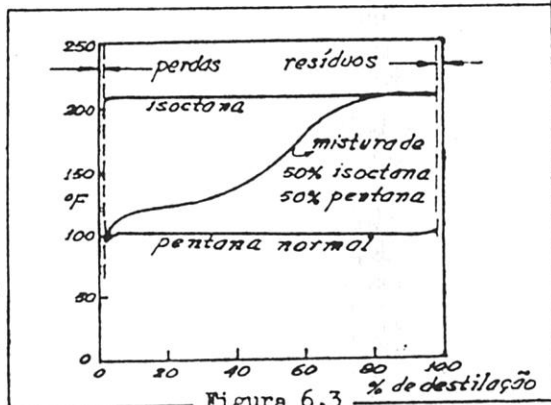


Figura 6.3

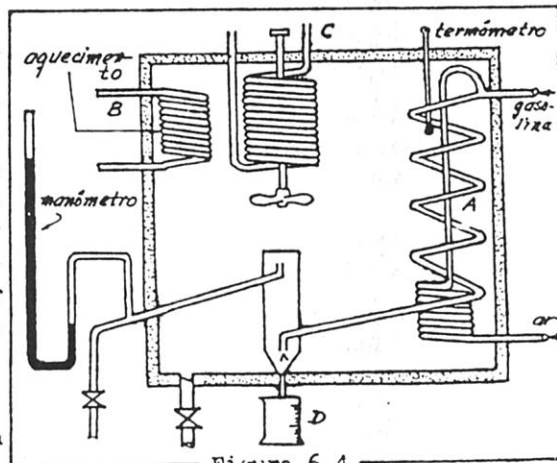


Figura 6.4

mesma quantidade de ar e combustível ter-se-á a curva de volatilidade para uma dada relação ar-combustível.

As discrepâncias entre essas curvas e a de um motor derivam de:

- 1) a tubulação de admissão de um motor é menor que a serpentina do ar;
- 2) a velocidade dos gases na tubulação de admissão é várias vezes maior que nos tubos do teste.

Quando uma série de testes é feita variando a relação ar-combustível, obter-se-á uma família de curvas como a da fig. 6.5.

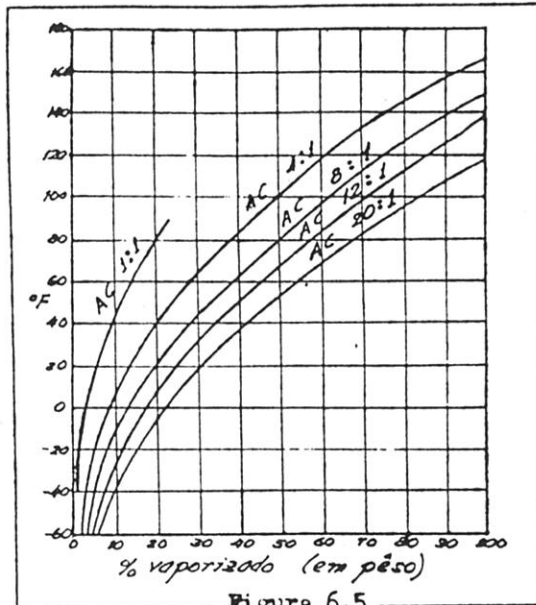


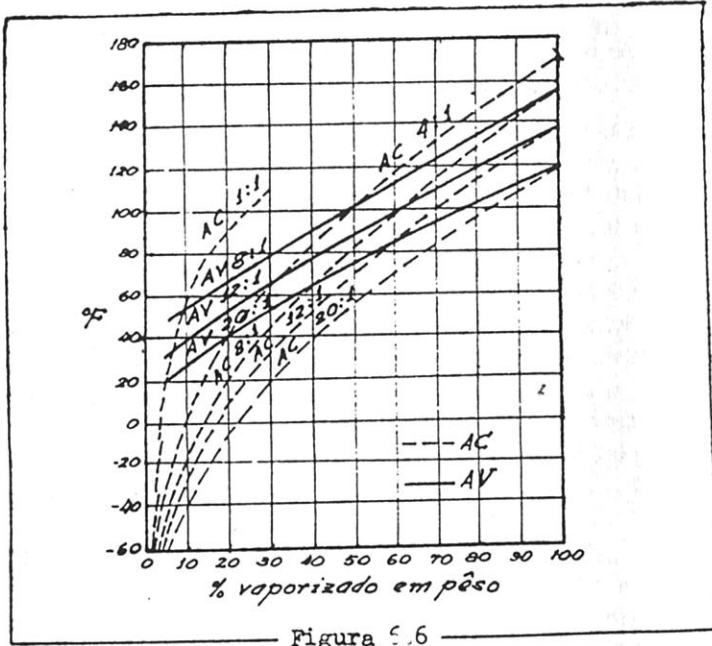
Figura 6.5

É interessante completar essa figura com as curvas de volatilidade ar-vapor, uma vez que a combustão depende da boa homogeneidade do ar com o vapor de combustível. Obtém-se assim a fig. 6.6.

A construção das curvas AV é baseada no seguinte: por exemplo, o ponto da curva AC = 12:1 em peso e 50% vaporizado à temperatura de 70°F representa também o ponto da curva AV = 24:1. Repetindo o processo para outros pontos, poderemos traçar as curvas AV simplesmente unindo os pontos correspondentes.

6.6 - Aplicações das curvas de volatilidade

As curvas de volatilidade não dão uma resposta quantitativa exata, uma vez que ao se estudar um motor devem ser levados em conta também outros fatores provenientes do projeto do motor. Porém são muito úteis como diretriz geral



para se estudar um problema: por exemplo, para verificar a influência de diversos tipos de gasolina sobre um mesmo motor.

Partida. O problema que se apresenta é dar a partida em um motor em tempo frio, facilmente (em menos do que 10 rotações). Experimentalmente verificou-se que uma relação de ar para vapor de 13:1 dá bons resultados na partida (embora a combustão possa ocorrer de 8:1 a 20:1). Essa relação pode ser obtida fechando a borboleta do acelerador e portanto estrangulando o fluxo de ar. Se o carburador dosar a carga de AC = 1:1 será necessário que 7,7% do combustível vaporize para que se obtenha a relação AV = 13:1 (ver fig. 6.6). A temperatura para partida pode ser obtida por meio da mesma figura.

Note-se porém que a fig. 6.6 foi construída para a pressão atmosférica, de modo que seria necessário uma correção. Esta porém é compensada pelo fato de as curvas de volatilização não representarem a realidade. As duas discrepâncias se compensam e a curva pode ser utilizada.

Aquecimento. Após partir, o motor precisa de um período de aquecimento para operar bem. O tempo de duração deste período depende de vários fatores tais como:

- 1) volatilidade do combustível;
- 2) a relação AC do carburador;
- 3) a quantidade de calor fornecido à mistura pela tubulação de admissão;
- 4) a distribuição da mistura e de combustível líquido pela tubulação de admissão;
- 5) a velocidade da mistura através da tubulação de admissão;
- 6) o efeito refrigerante do ar proveniente do ventilador passando pela tubulação de admissão, ou o desenho do mesmo considerando o seu aquecimento;
- 7) a temperatura do bloco;
- 8) a sensibilidade do mecanismo de controle do afogador.

Operação normal. Depois que o motor atingiu a temperatura de funcionamento, duas coisas podem acontecer: a gasolina pode ter uma baixa ou então uma alta temperatura de vaporização.

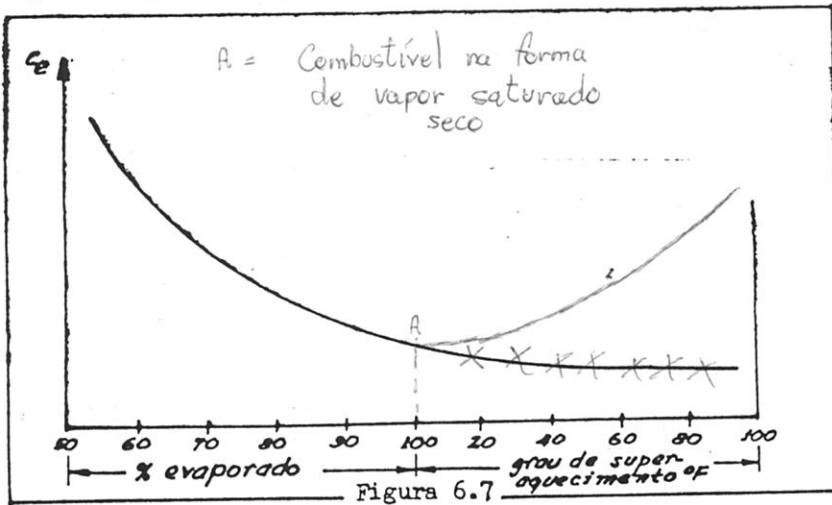
No caso de ter uma alta temperatura, gotículas de gasolina permanecerão na mistura até o curso de compressão (e algumas vezes a vaporização completa pode ocorrer somente na combustão).

No caso de ser baixa essa temperatura, a gasolina pode não só vaporizar, mas ser até superaquecida. Neste caso o motor aspirará menos ar porque uma parte desse ar foi ocupada pelos vapores de gasolina que aumentaram de volume, o que significa menor rendimento volumétrico e portanto menor potência.

Por outro lado a distribuição na tubulação de admissão de uma mistura de gases e gotículas de combustível é um problema difícil e dificilmente a mistura será homogênea.

Assim uma mistura com gotículas de gasolina fornecerá maior potência (melhor rendimento volumétrico) que uma mistura com vapor de gasolina superaquecido. Porém a mistura com gotículas significa um maior consumo de combustível devido à gasolina que não queimar e portanto um rendimento térmico menor.

A figura 6.7 mostra a variação do consumo específico de combustível em função da temperatura de vaporização e depois do grau de superaquecimento.



Pelo que foi dito vê-se que uma tubulação de admissão pode influir bastante sobre a vaporização e não somente a volatilidade da gasolina.

Aceleração. Quando o combustível não está completamente vaporizado, o fluido na tubulação de admissão consiste de ar, vapor de combustível, gotículas de combustível e um filme de combustível que se deposita sobre as paredes do tubo e que caminha para o cilindro com uma velocidade menor que a do fluxo de mistura. Com o motor em regime a relação ar-combustível dosada no carburador é a mesma que chega ao cilindro.

Se, porém, o acelerador é aberto subitamente, o aumento do fluxo de ar faz com que uma maior quantidade de líquido seja transportada na forma de filme sobre as paredes da tubulação. Como o filme caminha mais lentamente que o fluxo enquanto não chegar ao cilindro, a mistura será fraca, o que provocará falhas no motor.

Para compensar essa deficiência momentânea de combustível, o carburador é provido de uma bomba de pistão que numa abertura súbita do acelerador lança uma certa quantidade de combustível no fluxo de ar.

Se fôr utilizado um combustível bastante volátil, o uso dessa bomba auxiliar pode ser dispensado, mas para as gasolinas normais em uso e para que o motor responda bem ao comando, é necessária a sua utilização.

Diluição do óleo lubrificante. É possível que a mistura de ar e combustível ao entrar no cilindro encontre locais onde a temperatura é baixa condensando-se sobre esses locais. Além disso, gotículas de combustível e combustível líquido são constantemente arrastados para dentro do cilindro.

A gasolina líquida, que assim vai ter ao cilindro encontra o óleo lubrificante das paredes e o dissolve, passando a solução através dos anéis do pistão e indo ter ao carter. A eliminação do óleo lubrificante aumenta as condições de desgaste da parede do cilindro sem contar que a própria gasolina ataca o ferro.

A diluição pode ser diminuída de duas maneiras: usando uma gasolina mais volátil ou aumentando a temperatura do cilindro (ou da mistura).

O primeiro método é preferível porque o segundo envolve, além de uma diminuição do rendimento volumétrico (e portanto da potência), também o fato de que aumentando a temperatura da mistura aumentará a facilidade para oxidar a gasolina formando pontos de borra capazes de provocar detonação.

Formação de vapor (vapor lock). Até agora temos visto as vantagens de uma gasolina bastante volátil. Não se deve concluir, daí, porém, que isso seja sempre verdade. A formação de vapores no sistema de alimentação de um motor pode provocar uma interrupção parcial ou total do fluxo de gasolina e conseqüentemente uma perda de potência ou parada do motor. Os fatores que podem provocar uma interrupção do fluxo de gasolina são:

- a) A tendência da gasolina para formar vapores; os combustíveis mais voláteis são os que têm maior tendência;
- b) Partes do sistema de alimentação que estão muito expostas à ação do calor como por exemplo tubulação correndo perto do cano de escapamento;

c) A tolerância do sistema de alimentação à formação de vapor, isto é, a capacidade que tem este sistema de reter grandes volumes de vapores sem que estes venham a influir seriamente sobre o funcionamento do motor.

Para evitar que isso aconteça o projetista deverá cuidar de que:

- a) A bomba de combustível seja superdimensionada, de maneira que a presença de vapor não venha impedir o fluxo de combustível;
- b) As linhas de combustível, bomba e carburador devem estar em lugares relativamente frios e não ser expostas às radiações do cano de escapamento. O carburador e a bomba de gasolina, quando colocados acima do motor devem ser protegidas contra o calor deste por meio de um anteparo de amianto ou produto isolante semelhante.

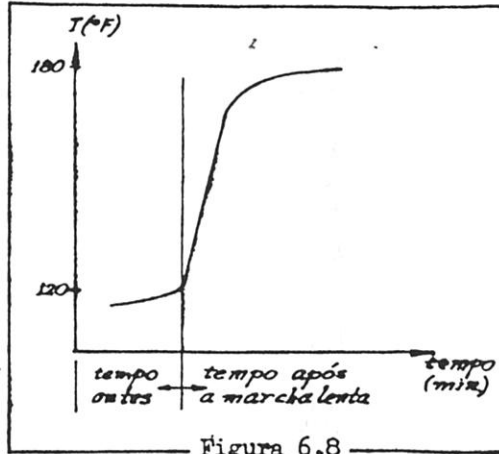


Figura 6.8

c) O ventilador e o fluxo de ar devem ser projetados de maneira que venham resfriar bem o sistema de alimentação. Um motor em marcha lenta esquenta bastante.

A figura 6.8 mostra uma variação de temperatura de uma parte qualquer do sistema de alimentação antes e depois de entrar em marcha lenta.

6.4 - Pressão de vapor, corrosão, goma, período de indução

Pressão de vapor. É a pressão que deve ser exercida sobre a superfície do líquido para evitar a sua vaporização. Uma gasolina deve partir facilmente o motor, mas após atingir a temperatura normal de operação não deve formar vapores, que acarretam os inconvenientes descritos em 6.3).

A pressão de vapor cresce com a temperatura e é função também da composição da gasolina (quando uma gasolina é aquecida sua composição varia progressivamente).

A pressão de vapor é determinada pelo método de Reid que consiste em medir a pressão de uma certa quantidade de gasolina dentro de um recipiente mergulhado em água a 100°F. Um valor médio é 7 psig.

Corrosão. Os hidrocarbonetos podem conter enxofre livre, ou H_2S ou algum outro composto de enxofre que pode ser determinado queimando a gasolina e medindo o SO_2 formado. O enxofre é sempre perigoso. Enquanto a temperatura de escape é constantemente alta e não há por isso formação do gás sulfuroso, tal já não acontece com o cilindro onde podem existir temperaturas relativamente baixas nos cursos não motores, e por isso haver formação de água. A água formada reagindo com o SO_2 dá H_2SO_3 que é corrosivo, ou então com o SO_3 dando H_2SO_4 .

O enxofre reduz o índice de octana.

O efeito corrosivo é medido mergulhando-se uma haste de cobre na gasolina e aquecendo esta a 122°F por 3 horas. A colocação da haste, após isso, comparada com amostras padrão, dá um índice do fator de corrosão.

Gomas. Alguns compostos hidrocarbonetados não saturados podem absorver O_2 por ação do calor e formar compostos que se decompõem ou não, mas que são elementos estranhos num combustível. A natureza química da goma bem como a sua formação não são inteiramente conhecidas hoje em dia. A goma formada pode aumentar as condições de desgaste e obstrução à passagem da gasolina.

Período de indução. Apesar da colocação de adidos inibidores, a formação de goma continua a se processar, embora diminuída. O período de indução especifica o tempo que a gasolina pode passar sem que a concentração de goma ou outros produtos indesejáveis tenham influência considerável.

O período de indução é determinado submetendo a gasolina às condições de oxidação bastante fortes (em que mais ou menos um dia equivale a um minuto) especificando-se daí a

quantidade de aditivos necessários.

6.5 - Álcool na gasolina

Numa maior ou menor quantidade o álcool é adicionado à gasolina. No Brasil, em virtude da proteção que se deseja dar aos produtores de álcool e ao cultivo da cana de açúcar, é obrigatória a adição desse produto como carburante (em média de 20%).

Vantagens da adição do álcool à gasolina:

- a) Aumento do índice de octana, pois o do álcool é maior que o da gasolina;
- b) Economia de divisas para o país pois importa-se menos combustível. Ao mesmo tempo é um escoadouro para a superprodução de álcool.

Desvantagens da adição do álcool à gasolina:

- a) O álcool tem grande capacidade de absorver água que só se separa por destilação. Esta água irá aparecer na carburação e na queima dentro do motor.
- b) O poder calorífico do álcool é menor que o da gasolina e conseqüentemente é menor o rendimento térmico e maior o consumo de combustível.
- c) O álcool aumenta a corrosão.
- d) Diminui a volatilização da gasolina.
- e) O álcool anidro é miscível com a gasolina, mas os que absorvem água não o são e além disso são mais pesados.
- f) A relação estequiométrica da gasolina é de 15:1 e a do álcool é de 9:1.

6.6 - Óleo combustível

A temperatura de autoignição dos hidrocarbonetos diminui à medida que cresce a cadeia de carbonos. Assim os membros pesados das parafinas são os que se comportam melhor nos motores por compressão. Possuem um número de cetanas maior. A cetana (hexadecana) é o padrão da escala do número de cetanas e a ela foi atribuído arbitrariamente o número 100, sendo que para os outros hidrocarbonetos o número de cetanas varia quase linearmente (para a construção da escala do número de cetanas convencionou-se índice 100 para a hexadecana ...

$C_{16}H_{34}$ e o índice O para o α -metil-naftaleno $C_{11}H_{10}$).

O número de cetanas (NC) cresce em sentido contrário ao do de octanas (NO), isto é, quanto mais alto o NC de um combustível tanto menor o seu NO. Por aí se vê que os combustíveis fracos para os motores de explosão são os mais interessantes para os motores de compressão.

As exigências para um óleo combustível são grandes. A injeção do combustível afeta bastante a combustão.

Certos requisitos fundamentais devem porém ser obedecidos:

- a) Características de batidas. Os combustíveis devem ter um NC suficiente para evitar batidas. Um bom combustível para motores por compressão deve dar um pequeno atraso na ignição (ignition delay) e ter uma baixa temperatura de autoignição para evitar o knock.
- b) Características de partida. O combustível deve partir o motor com facilidade. Isso exige um combustível bastante volátil para rapidamente formar uma mistura com o ar e um elevado NC para que a temperatura de autoignição seja baixa.
- c) Fumaça e cheiro. Não devem ser apresentados nos gases queimados. Um combustível bastante volátil permite uma boa mistura de maneira a evitar fumaça nos gases.
- d) Corrosão e desgaste. O combustível não deve causar corrosão antes da combustão ou corrosão e desgaste após a combustão. Esses inconvenientes estão diretamente relacionados com a quantidade de enxofre, cinzas e resíduos do óleo.
- e) Manuseio. Deve ser um óleo capaz de ser facilmente transportado e para isso ter baixa viscosidade para poder escoar em tubos ou recipientes.

6.7 - Especificações para o óleo combustível

Viscosidade. É a capacidade do óleo escoar. Pode ser, mais exatamente, definida em termos de cisalhamento. Na prática é medida pelo tempo que leva uma certa quantidade de óleo para escoar através de um orifício, pela ação da gravidade.

Um método para a determinação da viscosidade, muito usado por ser bastante simples, é o de Saybolt. Esse método indica que um óleo de viscosidade 100 sec a 100°F é um óleo que leva 100 segundos quando na temperatura de 100°F para encher um recipiente de 60 cm³ escoando por ação da gravidade, através de um orifício de diâmetro determinado.

O Saybolt Universal Viscosimeter (SU) é usado com temperaturas de 70, 100, 130 e 210°F e para tempos compreendidos entre 32 e 1000 segundos. Os resultados não são bons para tempos curtos; são satisfatórios a partir de 200 segundos, mas o método é usado mesmo abaixo disso em virtude da sua facilidade.

A viscosidade tem grande influência sobre o funcionamento dos motores. Se for baixa, a combustão será deficiente pois não há mistura suficiente de ar e vapores do combustível, com dificuldades na partida, aparecimento nos gases queimados, depósitos de carvão no bico do injetor.

Enxofre. Acredita-se que o desgaste e incrustações nas partes do motor sejam provenientes da formação de SO₂ durante a combustão com excesso de ar. O SO₂ pode atacar o óleo lubrificante, formando matérias resinosas. O SO₂ pode também reagir com a água dando ácido sulfúrico. O desgaste é proveniente da corrosão pelo H₂SO₄ bem como pela abrasão das matérias resinosas.

Carvão. A queima incompleta do combustível deposita carbono fixo na câmara de combustão e sobre o bico do injetor.

Cinzas. As cinzas são uma medida da abrasividade do combustível.

Água e sedimentos. A limpeza do combustível é um dos fatores mais importantes para especificação do óleo. Muitos motores já foram danificados por causa de impurezas do combustível.

Poder calorífico. Desnecessário falar sobre ele. Há o inferior e o superior, conforme se considere ou não a condensação do vapor de água proveniente da combustão. É medido na bomba calorimétrica.

Capítulo VII

Influência das características dos motores sobre a detonação (knock)

7.1 - Generalidades

Já vimos no capítulo III que os fatores que controlam a autoignição são os seguintes:

- 1- Temperatura
- 2- Densidade
- 3- Tempo (retardamento da ignição)
- 4- Relação AC
- 5- Material suplementar (gases inertes, catalizadores, aditivos, etc.)
- 6- Turbulência (afetando a homogeneidade da mistura).

Vimos também que as batidas originadas pela detonação são devidas à autoignição, tanto nos motores de combustão por faísca como nos de combustão espontânea. A diferença fundamental é que naquele a autoignição ocorre no fim da combustão, enquanto que neste ela ocorre no início.

7.2.- Batidas no motor a explosão

Afim de evitar a autoignição nos motores de explosão, deve-se ter, na mistura que queima por último (mais afastada da vela), as seguintes propriedades:

- a- Uma temperatura baixa
- b- Uma densidade pequena
- c- Um retardamento de ignição grande
- d- Uma mistura afastada da estequiométrica.

Passemos a analisar cada um desses fatores, separadamente.

Temperatura. A temperatura pode ser aumentada por qualquer um dos seguintes fatores, com aumento da possibilidade de detonação:

- 1- aumento da compressão ou sobrealimentação
- 2- aumento da temperatura do ar admitido
- 3- aumento das temperaturas do refrigerante
- 4- aumento da temperatura das parcelas dos cilindros e da câmara de combustão
- 5- abrindo o acelerador
- 6- avançando a faísca.

Deve-se ter em mente que aumentar a abertura da borboleta (aceleração) não influi sensivelmente na temperatura dos gases queimados (ver exercícios nrs. 3 e 4, cap. V). No entanto, a temperatura das paredes aumenta com a aceleração, pois na realidade as transformações não são adiabáticas e o calor perdido aumenta quanto maiores forem as energias em jogo.

Quando se adianta a ignição, os gases são comprimidos enquanto estão queimando, fazendo com que a temperatura e também a densidade da mistura aumentam radicalmente. Por isso a possibilidade de ocorrer detonação aumenta com o avanço da faísca e diminui com o retardamento da mesma.

No projeto de um motor devem-se considerar as circunstâncias que poderão provocar temperaturas elevadas e autoignição. Assim a válvula de escape, que está sujeita a altas temperaturas (cerca de 600°C) deve ser colocada de preferência próximo da vela ou, de qualquer maneira, longe da região onde se dá o fim da combustão. Pode-se esfriar a parte

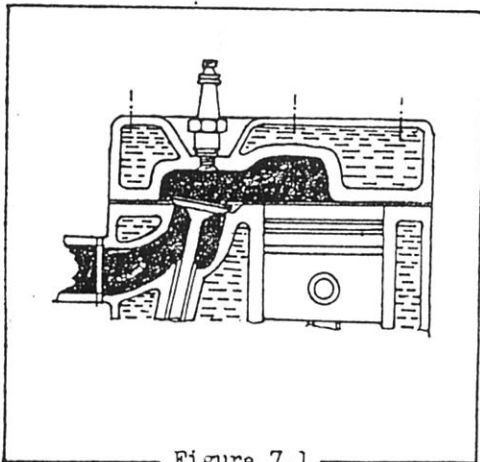


Figura 7.1

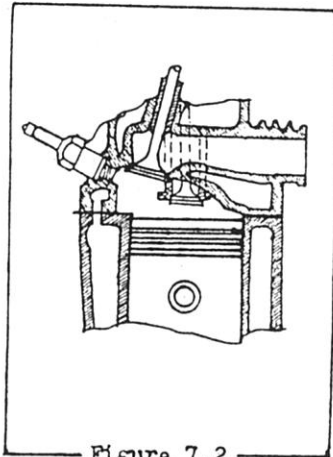


Figura 7.2