

Capítulo XIV

Lubrificação

A lubrificação dos motores de combustão interna é um problema bastante difícil por causa das altas temperaturas a que fica submetido o lubrificante. Considere-se ainda que os esforços atuantes são variáveis, e além disso que os lubrificantes devem atender a uma gama de temperaturas muito grande, desde as frias, como na partida, até as da câmara de combustão.

14.1 - O atrito

A teoria moderna que explica o atrito diz que além da interpenetração das rugosidades superficiais e atração molecular, outro fator muito importante contribui para a sua formação: é o chamado de solda a frio. Em virtude da elevada pressão específica, resultante de esforços aplicados a superfícies microscópicas, há nesses pontos um processo parecido com um caldeamento que solda as superfícies. Quando as superfícies se deslocam há ruptura desses pontos de solda ao mesmo tempo que outros se formam. Tem-se então um processo contínuo de solda e ruptura dos pontos de contato.

Define-se o coeficiente de atrito como

$$\mu = \frac{\text{fôrça tangencial para haver deslocamento}}{\text{fôrça normal aplicada às superfícies}}$$

O coeficiente de atrito tende a ser constante e independente da carga (fôrça normal), da velocidade relativa e das áreas de contato, mas varia com o material e o acabamento superficial.

O atrito entre duas superfícies em contato pode ser diminuído colocando entre as mesmas um lubrificante, que afastando as duas superfícies substitui o atrito seco por um atrito flúido.

De fato podemos supor que o filme de lubrificante, que separa as duas superfícies, seja formado por uma superposição de várias películas, cada uma animada de uma certa ve-

localidade em relação à vizinha, até a última camada aderente às superfícies, de movimento relativo nulo. Cada película está sujeita a um cisalhamento por ação das vizinhas e a resistência ao cisalhamento do lubrificante vem a ser o atrito flúido.

Uma medida adequada da resistência ao cisalhamento do lubrificante determina a "viscosidade".

Uma superfície com porosidade adequada é melhor para ser lubrificada do que uma perfeitamente lisa por causa da capacidade de reter lubrificante nos poros bem como pela maior facilidade de refrigeração.

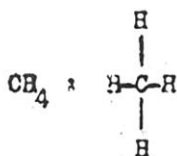
14.2 - Lubrificantes minerais, animais e vegetais

O uso de lubrificantes em máquinas é anterior à descoberta do petróleo. Usava-se então lubrificantes vegetais ou animais (como banha, óleos de peixe, etc.). A diferença entre o óleo e banha é questão somente de temperatura, uma vez que esta aquecida dá aquele. A banha e estes óleos animais, embora sejam bons lubrificantes, não são interessantes, porque podem formar gomas, e porque economicamente os minerais levam vantagem.

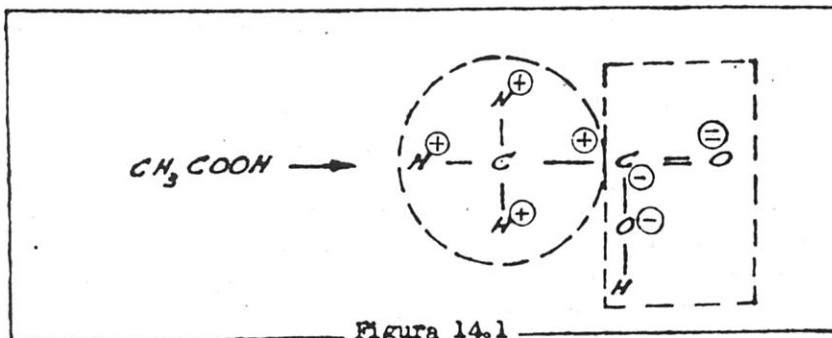
Um óleo lubrificante mineral é formado por uma cadeia de moléculas de estrutura desconhecida (naftalenos, parafínicos, aromáticos), podendo-se determinar a porcentagem de cada um. Todos os óleos derivados do petróleo contêm ainda compostos de enxofre, mas que geralmente fazem parte integrante da molécula, não tendo por isso efeitos corrosivos.

14.3 - Moléculas polares e não polares

Embora não o pareça à primeira vista, as propriedades químicas dos lubrificantes exercem influência sobre o coeficiente de atrito. A explicação parece que se encontra na estrutura molecular. As moléculas, eletricamente neutras no conjunto, são formadas de partículas que têm uma certa carga positiva ou negativa. Quando as moléculas são simétricas, as cargas se encontram simetricamente distribuídas, recebendo por isso a denominação de NÃO-POLARES. Por exemplo:



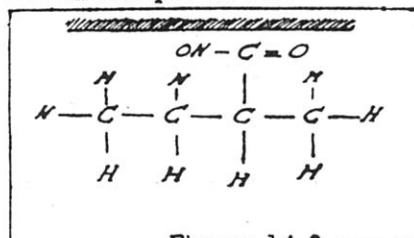
Outras vezes o centro geométrico das cargas positivas se encontra deslocado do centro geométrico das cargas negativas, o que permite o aparecimento de um certo momento elétrico. Essas moléculas são denominadas POLARES. Por exemplo, os alcoois são polares porque têm o radical OH que não é balanceado. O mesmo acontece com os ácidos:



O grau de polaridade varia conforme a configuração da molécula. O CO_2 é não polar porque os dois átomos de oxigênio estão colocados simetricamente em relação ao átomo de carbono. Já a água é polar porque apesar de ter dois átomos de hidrogênio, estes não estão colocados simetricamente em relação ao átomo de oxigênio.

Os lubrificantes polares são geralmente constituídos por uma cadeia ou anel de átomos de carbono. Porém preso a essa parte simétrica encontra-se um grupo que provoca um momento elétrico. É esta parte da molécula que adere às superfícies, enquanto que a cadeia principal se dispõe paralelamente às mesmas, formando uma camada protetora.

É esta a razão pela qual os óleos fixos (óleos animais e vegetais) que possuem cadeias polares têm menor coeficiente de atrito que os óleos derivados do petróleo.



Ligando-se às super

fícies em atrito, as moléculas garantem uma diminuição do co eficiente de atrito. Essa teoria é reforçada pelo fato de a adição de uma pequena quantidade de óleos fixos aos óleos de derivados do petróleo, transmitir a estes quasi que as mesmas qualidades antifricção. O óleo gordo deslocaria o óleo mine ral e aderiria à superfícies.

É possível também que ocorra uma reação de saponificação que ligue a superfície do metal à molécula polar. A fôrça de atração depende da natureza física e química da superfície metálica bem como da natureza química do lubrificante. Essa é a razão de se preferir alguns metais a outros pa ra lubrificação superficial.

A propriedade do óleo de aderir a superfícies metá licas é denominada "oleaginosidade".

A adição de pequenas quantidades de óleos fixos .. (5% ou menos) aos óleos minerais produz o que se denomina "ó leos compostos". Os óleos compostos são usados em máquinas a vapor porque esses aditivos se emulsionam com a água e a- derem melhor às paredes dos cilindros.

As emulsões podem obstruir as linhas de óleo e fun cionar como elemento de absorção de partículas estranhas e óleos oxidados formando impurezas. Por esse motivo os óleos fixos e os compostos podem não ser interessantes para moto- res de combustão interna.

14.4 - Lubrificante para engrenagens

Os óleos para lubrificação de engrenagens são ge- ralmente lubrificantes para extrema pressão (EP). Esses lu- brificantes permitem maiores cargas e velocidades de que os óleos minerais de mesma viscosidade. Um lubrificante EP sua ve é composto de uma mistura de óleos minerais e fixos, e tem pequenas quantidades de compostos de enxofre e cloro. Os EP fortes, como os óleos hipóides, são compostos de óleos mine- rais com sabões de chumbo (provenientes de ácidos gordos) e enxofre.

Eles atuam da seguinte maneira: debaixo das condi ções severas a que estão submetidas as engrenagens, nas irre gularidades dos dentes atinge-se temperaturas que se aproxi-

ma da temperatura de fusão, o que facilita reações químicas tendentes a formar um filme de compostos de ferro ao longo dos pontos de aplicação. Outras vezes podem se formar lubrificantes sólidos, como cloreto ou sulfeto de chumbo.

Esses filmes funcionam como lubrificantes e também impedem que o óleo escape de entre os dentes.

Ao se aplicar um óleo EP deve-se aguardar um certo tempo (até ocorrerem as reações químicas) antes de aplicar cargas elevadas.

Os lubrificantes EP são corrosivos, embora os aditivos sejam tais que reagem somente em temperaturas elevadas, sendo pois que as áreas sujeitas a esforços pequenos não são atacadas.

14.5 - Refino

Os óleos lubrificantes são das últimas porções a serem obtidas numa torre de destilação, pouco antes dos resíduos de asfalto.

Uma vez que à pressão atmosférica, o material ferve em altas temperaturas, o que possibilita sua decomposição, ele é destilado a vácuo (1 a 3" Hg, 300°C). Às vezes, introduz-se vapor para diminuir a pressão parcial do óleo. Os destilados mais leves são reaproveitados para cracking e obtenção de gasolina e óleo combustível.

14.6 - Propriedades dos lubrificantes

As finalidades dos lubrificantes são principalmente duas: diminuir o atrito e refrigerar as partes aquecidas. Devem evitar também o contato de metal contra metal, o desgaste, a corrosão e os depósitos.

Para desempenhar essas funções os lubrificantes devem possuir certas propriedades que veremos a seguir e das quais a mais importante é a viscosidade.

Viscosidade - A viscosidade é a principal característica de um óleo. É medida pela resistência que um fluido (líquido ou gás) opõe ao movimento.

Suponhamos duas placas planas e paralelas, havendo entre elas uma película de um fluido qualquer, óleo por exemplo.

Deslocando a placa superior com uma velocidade c constante observa-se que:

- a) a força necessária para produzir o movimento, ou seja, a resistência a vencer, é proporcional à velocidade;
- b) para a velocidade constante, a força é inversamente proporcional à espessura da película de óleo;
- c) a película de óleo pode ser suposta formada de diversas camadas com velocidades relativas entre si, desde a inferior que está aderida à placa inferior e portanto com velocidade nula até a superior aderida à placa superior com velocidade c . Se a altura for h , a relação (c/h) será o gradiente de velocidade, constante com o tempo e denominado de "taxa de cisalhamento do óleo";
- d) a força é proporcional à superfície S das placas;
- e) a força é ainda proporcional a um coeficiente que varia com o fluido e que, para o mesmo fluido, varia com a temperatura.

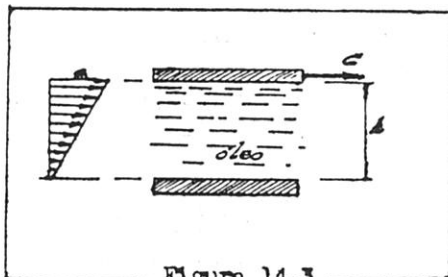


Figura 14.3

Se F a força necessária para deslocar a placa superior com a velocidade c , a tensão cisalhante será (F/S) .

A lei do fluxo viscoso foi estabelecida por Newton como:

$$\frac{F}{S} = \eta \frac{c}{h}$$

O fator de proporcionalidade η é por definição a viscosidade absoluta ou dinâmica do fluido. Assim a viscosidade é a medida da resistência interna ao cisalhamento do óleo.

A lei de Newton, na sua forma, é análoga à lei de Hooke para os sólidos, se bem que nestes existe a fase elástica na qual a deformação desaparece uma vez cessado o esforço, e nos fluidos a energia de deformação é transformada em calor irreversivelmente.

A unidade de viscosidade no sistema CGS é o poise e dada em (dina.s/cm²); no sistema inglês é o Reyn.

Na prática é muito usada a viscosidade cinemática definida como o quociente de viscosidade dinâmica pela massa específica do fluido.

São muito empregadas as escalas convencionais de viscosidade, tais como: Saybolt (América), Redwood (Inglaterra) e Engler (Europa Continental).

Para a obtenção das viscosidades usam-se aparelhos denominados viscosímetros, nos quais se mede o tempo gasto para uma certa quantidade de óleo escoar através de um orifício com dimensões padronizadas.

As viscosidades dos óleos minerais são especificadas pela classificação SAE da tabela abaixo. A classificação SAE nada mais é do que uma faixa de viscosidades para uma dada temperatura, viscosidades essas obtidas pelo viscosímetro de Saybolt. Entretanto as temperaturas da tabela podem não representar as condições de operação, as quais podem variar desde -30°C na partida até 100°C operando em carga.

Tabela 14.I

| Classi- ficação SAE | Gama de viscosidades SSU | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------|---------|-----|---------|-----|---------------------|
| | a 0°F | | a 130°F | | a 210°F | | |
| | min | max | min | max | min | max | |
| 5W | - | 4.000 | - | - | - | - | óleos para motores |
| 10 | - | - | 90 | 120 | - | - | |
| 10W | 6.000 | 12.000 | - | - | - | - | |
| 20 | - | - | 120 | 85 | - | - | |
| 20W | 12.000 | 48.000 | - | - | - | - | |
| 30 | - | - | 185 | 255 | - | - | |
| 40 | - | - | 255 | - | - | 80 | |
| 50 | - | - | - | - | 80 | 105 | |
| 60 | - | - | - | - | 105 | 125 | |
| 70 | - | - | - | - | 125 | 150 | |
| 80 | 15.000 | 100.000 | - | - | - | - | óleos p/ engren. |
| 90 | - | - | - | - | 75 | 120 | |
| 140 | - | - | - | - | 120 | 200 | |
| 250 | - | - | - | - | 200 | - | |

A viscosidade dos óleos depende da temperatura: é alta em temperaturas baixas e baixa em temperaturas elevadas (fig. 14.4).

Esta característica tem de a dificultar a partida dos motores e a provocar perdas por escape entre os anéis do pistão em temperaturas elevadas. Por outro lado a diminuição da viscosidade diminui o trabalho para vencer os atritos.

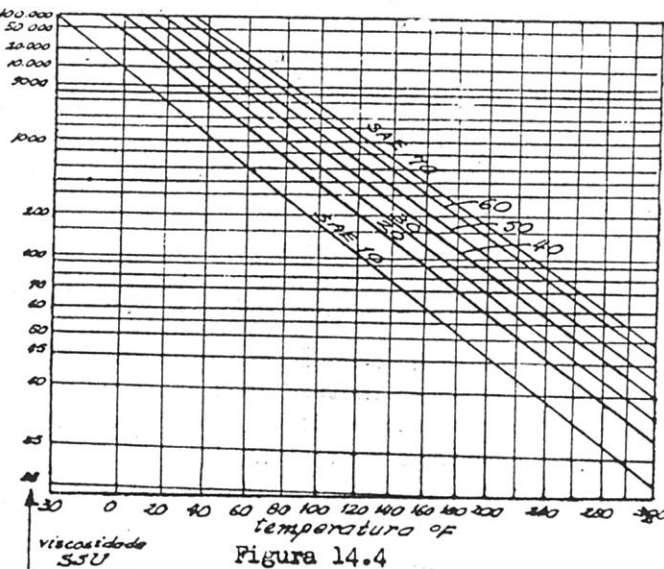


Figura 14.4

As curvas da fig. 14.4 podem ser extrapoladas, por serem retas, de maneira que não é necessário medir a viscosidade em baixas temperaturas, o que seria muito demorado. As extrapolações não devem porém ultrapassar a temperatura de ebulição nem o ponto de fluidez.

A inclinação dessas curvas é medida pelo índice de viscosidade (IV).

A viscosidade em si não revela todas as características de um lubrificante, se bem que seja a mais importante característica. Dois lubrificantes podem ter a mesma viscosidade à mesma temperatura, mas viscosidades diferentes em outra. Um pode ser mais refinado que o outro, e por isso ter índice de viscosidade mais alto.

O índice de viscosidade tem muita importância para a seleção do lubrificante nos motores de combustão interna; sendo a seleção feita em função da temperatura normal de operação do motor, o índice de viscosidade dita as características na partida. Os motores estacionários, que geralmente es

tão em lugares confinados são mais indiferentes ao índice de viscosidade.

Atribui-se arbitrariamente os índices de viscosidade de 0 a 100 a dois óleos escolhidos para referência, sendo assim construída a escala (IV = 0 para um certo óleo proveniente da costa do Golfo e IV = 100 para outro proveniente da Pennsylvania).

Os lubrificantes naftalênicos têm IV inferior a 50 enquanto que os parafínicos entre 75 e 100. É possível melhorar o IV de um óleo pela eliminação dos componentes de baixo IV com solventes seletivos. Esse processo e mais a adição de agentes especiais permite obter óleos com IV da ordem de 150.

A temperatura não é a única variável que influi na escolha da viscosidade. Também interessam carga e velocidade.

Com relação a carga, quanto maior esta, maior deverá ser a viscosidade. Se for aplicada uma carga grande a um óleo de baixa viscosidade, o óleo será comprimido e escoará por entre os vãos dos mancais.

Quanto à velocidade, para valores altos deveremos escolher um óleo de baixa viscosidade e vice-versa.

As três regras para a seleção da viscosidade são as indicadas na fig. 14.5.

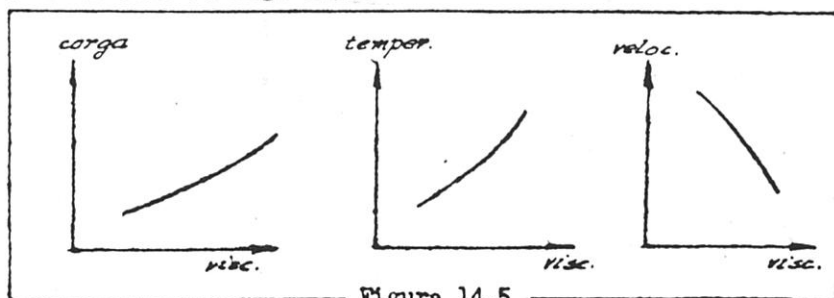


Figura 14.5

Ponto de fluidez (pour point) - Os óleos parafínicos, contendo materiais parafínicos que se solidificam em baixas temperaturas, se tornam gelatinosos com uma consistência pastosa, a qual afeta sua fluidez.

Torna-se difícil escoá-los dos barris e se forem usados no cárter de um motor poderão obstruir a entrada da bomba de óleo.

A temperatura em que o óleo se torna gelatinoso corresponde o ponto de fluidez, que pode ser abaixado pelo refino.

O processo de refinar o óleo consiste em abaixar sua temperatura até abaixo do ponto de fluidez e filtrá-lo sob pressão.

Se se desejar fluidez melhor, a adição de alguns agentes especiais é indicada para impedir a formação de substâncias gelatinosas, porque evitam o crescimento dos grãos de parafina.

Os lubrificantes naftalênicos possuem pouca parafina e têm por isso baixo ponto de fluidez. Essa é a razão de serem indicados para aplicações a baixas temperaturas (- 30°C).

Oleoginosidade - Já vimos que a oleoginosidade vem a ser a capacidade do lubrificante de aderir à superfície metálica. É um processo de adsorção.

Não existe uma escala para medida dessa característica. Em geral, óleos com elevada oleoginosidade dão desgastes reduzidos dos mancais, uma vez que o material é protegido por diversas camadas de moléculas grandes que aderem à superfície metálicas.

Corrosão - O óleo não deve ser corrosivo, mas além disso deve ser uma proteção contra a corrosão. A característica de proteção do lubrificante está ligada à idéia de adsorção que define o conceito de oleoginosidade. Porém verifica por outro lado que um composto fortemente polar pode facilitar a corrosão.

Se não estiverem contaminados, os lubrificantes minerais não são corrosivos para a maioria dos metais utilizados na construção de máquinas. Entretanto, os óleos se oxidam com o tempo dando formação a ácidos orgânicos que são bastante corrosivos para o chumbo e ligas de chumbo e pouco para o cobre e o ferro.

Se os óleos minerais tiverem baixa oleoginosidade, pode-se adicionar agentes anticorrosivos.

Emulsão - Diz-se que o óleo forma emulsão com um gás ou vapor quando pequenas bolhas desse gás ficam presas no óleo. A emulsão facilita a oxidação e reduz a quantidade de óleo que vai para os mancais.

Se os óleos se deteriorarem formando ácidos, estes podem atacar as superfícies metálicas formando sabões, os quais estabilizam as emulsões.

Os óleos que formam menos emulsões são os mais refinados, com alto IV e reforçados ainda pela adição de anti-oxidantes.

Detergência - Um óleo diz-se detergente quando é capaz de dissolver os depósitos que se formarem. A característica de detergência é muito importante num óleo, por que dissolvendo os depósitos, impede a sua aglomeração, o que poderia trazer sérios prejuízos.

Por outro lado, o refino do óleo por meio de solventes reduz a sua detergência.

Estabilidade - É a propriedade pela qual um óleo é capaz de resistir à oxidação, sem o que se formariam ácidos, vernizes e sedimentos.

A estabilidade do óleo exige solicitações em baixa temperatura (menos de 100°C) e impedir que entre em contato com superfícies quentes. Quando oxida formam-se ácidos solúveis e compostos parcialmente oxidados que são insolúveis. Estes materiais quando expostos a alta temperatura tendem a formar vernizes. Os vernizes são encontrados nos bordos dos pistões e só podem ser removidos por um solvente. Os mesmos materiais podem se unir ao carvão, água, óleo e matérias estranhas no cárter, formando sedimentos que podem ser removidos facilmente. A formação de sedimentos é facilitada pela oxidação do lubrificante, pela oxidação do combustível ou por produtos de combustão que passam pelos anéis e finalmente pela acumulação de água e poeira que se emulsionam como o óleo.

Para evitar a oxidação do óleo necessita-se de um lubrificante que trabalhe bem em temperaturas altas.

A temperatura do agente de resfriamento deve ser tal que impeça a oxidação do óleo (menos que 100°C; mais ou menos 70°C) e deve ser suficientemente alta para vaporizar a água e o combustível líquido que por ventura venham a ter no cárter (mais ou menos 80°C).

Densidade - A densidade nos óleos é medida pelo Ensaio Padrão D-287-55 da ASTM. É determinada à temperatura de 15,5°C.

Largamente empregada para os produtos derivados do petróleo é a escala de densidade API (American Petroleum Institute), expressa em graus API. É uma escala convencional em que a densidade da água (1.000) corresponde a 10° API e a dos líquidos mais leves a números maiores. A escala API é obtida a partir da densidade a 15,5°C pela fórmula

$$\text{densidade em graus API} = \frac{141,5}{\text{densidade a } 15,5^{\circ}\text{C}} - 131,5$$

A tabela 14.II nos dá uma série de valores em °API e equivalentes em densidade:

Tabela 14.II

Equivalência entre Graus API e Densidade :

| API | Densidade | API | Densidade | API | Densidade |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 10 | 1.000 | 23 | .916 | 36 | .845 |
| 11 | 0.993 | 24 | .910 | 37 | .840 |
| 12 | .986 | 25 | .904 | 38 | .835 |
| 13 | .979 | 26 | .898 | 39 | .830 |
| 14 | .972 | 27 | .893 | 40 | .825 |
| 15 | .966 | 28 | .887 | 41 | .820 |
| 16 | .959 | 29 | .882 | 42 | .816 |
| 17 | .953 | 30 | .876 | 43 | .811 |
| 18 | .947 | 31 | .871 | 44 | .806 |
| 19 | .940 | 32 | .865 | 45 | .802 |
| 20 | .934 | 33 | .860 | 46 | .797 |
| 21 | .928 | 34 | .855 | 47 | .793 |
| 22 | .922 | 35 | .850 | 48 | .788 |

(continua)

(continuação)

| API | Densidade | API | Densidade | API | Densidade |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 49 | .784 | 53 | .767 | 57 | .751 |
| 50 | .780 | 54 | .763 | 58 | .747 |
| 51 | .775 | 55 | .759 | 59 | .743 |
| 52 | .771 | 56 | .755 | 60 | .739 |

14.7 - Medida de viscosidade. Viscosímetro de Saybolt

São vários os aparelhos para medida de viscosidade. Os mais usados são os de: Redwood e Engler na Europa, e Saybolt na América.

Na medição pelo aparelho Saybolt (Ensaio D-88-53 da ASTM), a viscosidade representa o tempo, em segundos, para um determinado volume de óleo escorrer, sob a ação da gravidade e a uma temperatura determinada, através de um orifício com dimensões especificadas.

O viscosímetro de Saybolt é um recipiente com aproximadamente 1 1/8" de diâmetro por 3 1/2" de altura, tendo no fundo um tubo de descarga com 1,765 mm de diâmetro por 1/2" de altura. A parte superior desse recipiente é construída de tal forma que é possível enchê-lo com bastante exatidão até um determinado nível (fig. 14.6).

Quando se retira a rolha que obtura o tubo de descarga, o óleo a ensaiar escorre para uma pequena cuba (fig. ... 14.7), enchendo-a até o reparo de nível marcado no seu gargalo.

Registrando-se o tempo, em segundos, que

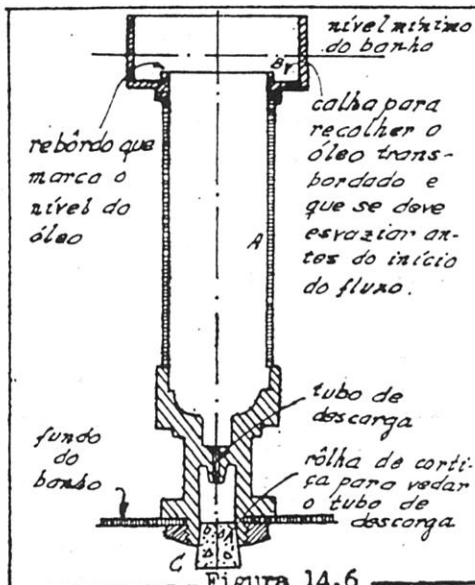


Figura 14.6

o óleo leva para encher a cuba até a marca de referência (60 cm^3 de conteúdo), tem-se a medida da viscosidade Saybolt do óleo ensaiado, à temperatura de prova.

O método é utilizado por ser bastante prático, mas dá leituras bastante inexatas para tempos menores que 200 segundos e sem significado para tempos abaixo de 40 segundos.

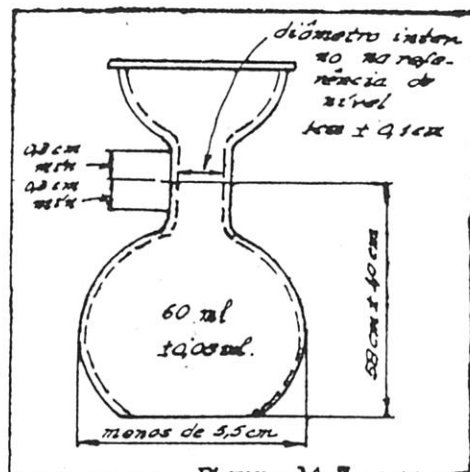


Figura 14.7

14.8 - Viscosidade absoluta e cinemática

As viscosidades obtidas com o aparelho de Saybolt são funções das respectivas densidades dos óleos. Isto é, dois óleos que no viscosímetro de Saybolt levam o mesmo tempo para escoar, podem não ter a mesma viscosidade, uma vez que os seus pesos específicos podem ser diferentes e diferente portanto a ação da gravidade sobre cada um deles.

Dá-se o nome de viscosidade cinemática à relação:

$$\frac{\text{viscosidade absoluta}}{\text{densidade}}$$

As unidades da escala cinemática denominam-se "centistokes", em homenagem ao físico inglês G.C. Stokes.

Dos vários aparelhos aprovados pela ASTM para determinar a viscosidade cinemática, o mais usado é o viscosímetro de Ostwald modificado (padrão provisório D-445-53-T), ilustrado na fig. 14.8.

A marcha geral do ensaio é a seguinte: com o aparelho voltado para baixo, mergulha-se uma das extremidades (2) na amostra a ensaiar e por sucção na outra (1), faz-se penetrar um volume de óleo suficiente para encher os bulbos A e B até a referência de nível no tubo capilar. Volta-se o aparelho para a sua posição normal, colocando-o, depois, den

tro de um banho de aquecimento, de tal forma que o reservatório A fique imerso. O óleo escorre, então, para o reservatório C do viscosímetro. Quando for atingida a temperatura desejada, aspira-se o óleo por sucção na extremidade (2), até que seu nível superior fique aproximadamente 1/4" acima da marca existente entre os bulbos A e B. Interrompe-se aí a aspiração e registra-se o tempo, em segundos, que o nível superior do óleo leva para descer desde a marca (3) até a (4).

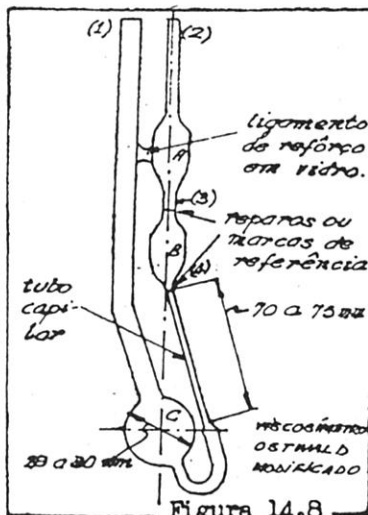


Figura 14.8

O número anotado, multiplicado por uma constante do aparelho representa a viscosidade cinemática do óleo, em centistokes, à temperatura de prova.

O diâmetro do tubo capilar varia com o grau de viscosidade do líquido - fino, médio ou grosso - mas é sempre bastante estreito para impedir que a velocidade de escoamento do óleo exceda certo limite.

14.9 - Aditivos para lubrificantes

A refinação, embora elimine alguns compostos indesejáveis no óleo, elimina também compostos de composição desconhecida, mas que são altamente interessantes para uma boa lubrificação. Isso é especialmente verdadeiro no refino feito por meio de solventes, porque estes não são seletivos.

Os óleos minerais não apresentam qualidades suficientemente fortes para atender ao serviço de um motor atual. Por esse motivo os óleos são muito refinados e tratados com aditivos químicos que permitem atingir as propriedades desejadas.

A seleção dos aditivos é um problema muito difícil, porque eles podem melhorar uma característica mas piorar outra. Por isso são selecionados inicialmente por considerações teóricas e depois testados em laboratório em vários ti-

pos de óleos e em vários motores.

Via de regra, os aditivos constituem segredos das firmas produtoras de lubrificantes.

Os lubrificantes atuais podem se classificar em 3 grupos, quanto aos aditivos:

Óleos "regulares" - óleos minerais e utilizados em motores com solicitações modernadas;

Óleos "premium" - que contêm aditivos para melhorar as características antioxidantes e anticorrosivas; são utilizados em condições mais severas;

Óleos "heavy-duty" - que contêm, além desses aditivos, outros que os tornam também óleos detergentes; são indicados tanto para motores diesel como a gasolina, quando solicitados por grandes cargas e a altas velocidades.

A API classifica os óleos lubrificantes de motores a explosão e diesel com as seguintes siglas:

- ML - óleos para motores a explosão operando em condições moderadas ou favoráveis, sem especificações quanto à lubrificação ou formação de depósitos. São óleos sem propriedades detergentes.
- MM - óleos para motores a explosão operando em condições de moderadas a severas e sujeitos a formação de depósitos e corrosão nos mancais quando se atingir temperaturas altas no cárter. O óleo tem algumas propriedades detergentes.
- MS - óleos para motores a explosão operando em condições desfavoráveis e severas ou para motores com exigências quanto à lubrificação, formação de depósitos, corrosão nos mancais, qualidade do combustível e características construtivas do motor.
- MD - óleo para motores diesel, que operando em quaisquer condições, não apresentam exigências quanto a desgastes e formação de depósitos devido à natureza do combustível e características construtivas do motor.
- DS - óleos para motores diesel operando em condições extremamente severas e que, em virtude da qualidade inferior do combustível ou características construtivas, tem

uma tendência anormal para desgastes e/ou formação de depósitos.

Aditivos detergentes - Os sedimentos formados por partículas de fuligem ou decomposição do combustível ou do óleo lubrificante não podem ser removidos totalmente por meio de filtros ou pela drenagem do cárter a intervalos regulares; existe sempre uma determinada quantidade de sedimentos, que não podendo ser retidas pelos filtros, forma depósitos no cárter.

Os óleos detergentes mantêm em suspensão no lubrificante estes materiais, impedindo que eles formem depósitos, salvo quando se satura a capacidade de detergência do óleo pelo tempo excessivo de funcionamento. Removem também os depósitos produzidos anteriormente pelo emprego de óleos não detergentes.

Os óleos detergentes são especialmente indicados para a aplicação em motores submetidos a serviço pesado, e, em particular, nos Diesel de alta rotação, para os quais certos fabricantes os recomendam.

Para serviços moderados também são úteis porque mantêm as superfícies de atrito em melhores condições de limpeza durante intervalos de tempo maiores do que os lubrificantes comuns.

Em geral, os óleos minerais puros não possuem propriedades detergentes em grau apreciável, que podem porém ser obtidas pelo emprego de aditivos. Os aditivos são de composição diferentes, e podem atuar de maneira diferente conforme o lubrificante.

Não existe um processo de laboratório para se medir a qualidade "detergência" de um óleo. O que existe são métodos comparativos com óleos detergentes conhecidos. São usados para isso motores que variam conforme o país: nos Estados Unidos - Caterpillar Diesel de um cilindro, Diesel General Motors e Chevrolet; na França - o Citroën e o Renault ACV; na Inglaterra - o Crossley ou um Ricardo, e assim por diante.

Os aditivos são usualmente sais metálicos de ácidos orgânicos que se ligam quimicamente, ou por atração po-

lar às moléculas do lubrificante, justamente àquelas que poderiam formar depósitos.

A molécula neutralizada não se liga às outras evitando-se a aglomeração.

Cuidados devem ser tomados com os óleos detergentes quando forem usados em substituição de outro que já acumulou bastante depósitos, porque o novo óleo com características detergentes poderá dissolver os depósitos e estes entupirem algum orifício ou canalização.

Aditivos antioxidantes e anticorrosivos - A oxidação num óleo lubrificante é baixa em temperaturas menores que 100°C, mas cresce exponencialmente quando se tem temperaturas elevadas; por exemplo, acima de 110°C um aumento na temperatura de 2 a 5°C pode dobrar a oxidação.

A oxidação é indesejável não só porque se formam depósitos como também porque podem formar-se alguns ácidos orgânicos corrosivos. Assim sendo esses aditivos têm o duplo propósito de preservar o óleo e as partes do motor, para o que deverão anular a ação dos metais como catalisadores de oxidação (o cobre, por exemplo, é um metal bastante catalisador de oxidação).

Os aditivos são em geral compostos de hidrocarbonetos insaturados de enxofre e/ou fósforo. Ligando-se às moléculas de oxigênio ou compostos oxidados (que são os contaminantes do óleo), os aditivos interrompem o processo de oxidação, que é feito em cadeia. Funcionam também como anticorrosivos, ligando-se aos metais e formando assim uma capa protetora.

Aditivos para abaixar o ponto de fluidez - Quando a temperatura diminui até um certo valor, os compostos parafínicos contidos no óleo formam precipitados que impedem o seu escoamento.

Na ocasião de partida de um motor frio, um óleo com alto ponto de fluidez não dará uma boa lubrificação, introduzindo desgastes excessivos.

Os compostos parafínicos podem ser retirados dos ó

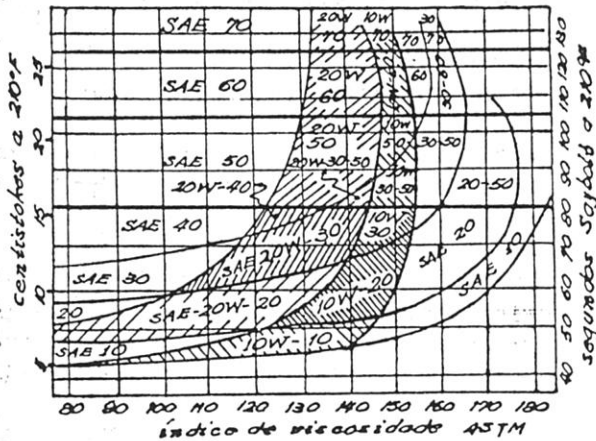
leos. Mas além do processo ser antieconômico, pode-se piorar outras qualidades do óleo: diminuir o índice da viscosidade, piorar as condições de oxidação e outras mais. Por essa razão, usam-se aditivos em vez de se procurar retirar os compostos parafínicos.

Os aditivos para baixar o ponto de fluidez são sempre compostos de alto peso molecular que aumentam a viscosidade do óleo. Provavelmente a ação desses aditivos consiste em formar uma capa protetora dos grãos de parafina impedindo o seu crescimento.

Aditivos para melhorar o índice de viscosidade - São aditivos de cadeia muito grande (de peso molecular da ordem de dezenas e até centenas de milhares) e que têm por isso viscosidade elevada.

Alguns aditivos podem ser preparados pela polimerização de hidrocarbonetos formando cadeias extensas. Por outro lado, uma cadeia longa é mais suscetível de ser quebrada por esforços mecânicos. Quando isso acontecer, ter-se-á uma diminuição na viscosidade e no índice de viscosidade.

O emprego de aditivos para melhorar o IV possibilitou a fabricação de óleos de grande gama de temperatura de trabalho, denominados "óleos de viscosidade múltipla".



dade que vão desde SAE 20 W até SAE 50.

Outros aditivos - Existem ainda outros aditivos para redução de emulsões, para aumentar a qualidade de extrema pressão, para diminuir o desgaste, e assim por diante.

14.10 - Performance do motor e lubrificação

A fig. 14.10 mostra como um óleo de alta viscosidade diminui as fugas de gases através dos anéis, bem como a influência da viscosidade sobre o torque e o consumo específico de combustível.

A viscosidade adequada para um motor deve ser determinada experimentalmente. A regra para lubrificantes de motores de automóveis é usar um óleo de menor viscosidade possível dentro da gama 10 a 50 SAE e que dê um consumo satisfatório de óleo. Se a viscosidade for muito baixa, notar-se-á o aparecimento de lubrificante queimado nos gases de escape. Por outro lado, quando não se observar o óleo queimado nos gases de escape, deve-se desconfiar de que a parte superior do cilindro não está sendo lubrificada.

Atualmente muitos motores são projetados para trabalharem com um alto valor de ZN/p ($Z = \text{vis}$

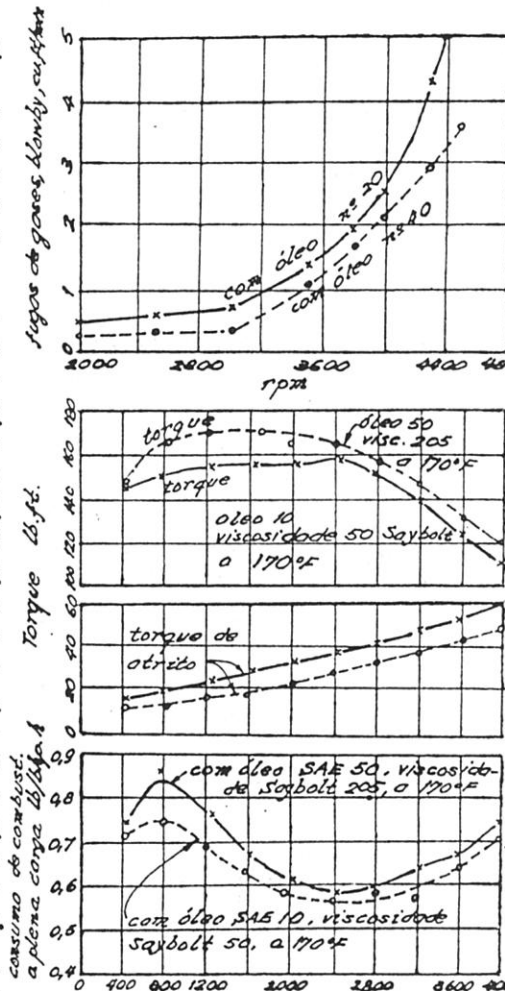


Figura 14.10

cosidade em centopoise; N = rotação em rpm; p = pressão específica), Para esses motores pode ocorrer, se o óleo usado for leve, a lubrificação de película quando N for pequeno e p grande. Num motor de automóvel o fenômeno pode ser diminuído pela utilização de uma redução maior nas engrenagens da transmissão, de maneira a se ter rotação elevada do motor mesmo quando em velocidades baixas do veículo. Para entender bem a variável ZN/p , é interessante se reportar às figs da pg. 217 onde se pode ver como influenciam a carga e a rotação sobre a seleção da viscosidade.

Testes efetuados com motores de autoveículos mostraram que quando se utilizam óleos na faixa alta da escala SAE:

- a - o consumo de óleo diminui
- b - a temperatura dos mancais cresce
- c - a oxidação do óleo diminui
- d - o desgaste é pouco afetado.

A diminuição no consumo de óleo devido a se usar um óleo mais pesado se explica pela melhor ação vedante dos anéis. Além disso, os óleos leves contêm uma parcela maior de produtos relativamente voláteis, que podem ser perdidos por vaporização, principalmente na parte superior das paredes do cilindro.

Algumas vezes pode ocorrer que usando um óleo mais viscoso, aumenta-se o seu consumo. Isso se deve a um atraso no escoamento através dos orifícios (se forem relativamente pequenos) do pistão; dessa maneira, o óleo expõe-se mais à temperatura da câmara.

Uma vez atingida a temperatura de regime, os óleos trabalham praticamente com a mesma viscosidade, porque um óleo mais viscoso trabalhará em temperaturas mais elevadas em virtude do atrito interno entre suas moléculas. Essa conclusão aplica-se mais a mancais do que à lubrificação entre cilindro e anéis.

É difícil definir o que seja um consumo satisfatório de óleo, uma vez que as condições de operação e a idade do motor variam. Em geral, 1 litro por 2.000 quilômetros ou 2 a 5 g/BHP.h é um índice para veículos de transporte. Um funcionamento em alta rotação aumenta o consumo de óleo. Um

motor usado também.

O consumo de óleo num veículo de transporte é dado por quilometragem ou horas de serviço. Vários são os fatores que podem influir no período de troca de óleo: variações muito grandes de temperaturas, clima úmido e partidas frequentes são alguns desses fatores. Os contaminantes do óleo aumentam rapidamente pelo comparecimento de combustível diluindo o óleo.

14.11 - Sistemas de lubrificação para motores

O óleo lubrificante deve circular pelos mancais, pelas paredes dos cilindros, etc., resfriar esses elementos, ser resfriado e filtrado: esses são os requisitos para obter bons resultados.

Os motores de automóveis possuem um sistema de lubrificação como o esquematizado na fig. 14.11(a). O óleo é bombeado em baixa pressão por uma bomba de engrenagens (fig. 14.12) em paralelo com a qual se encontra uma válvula regula

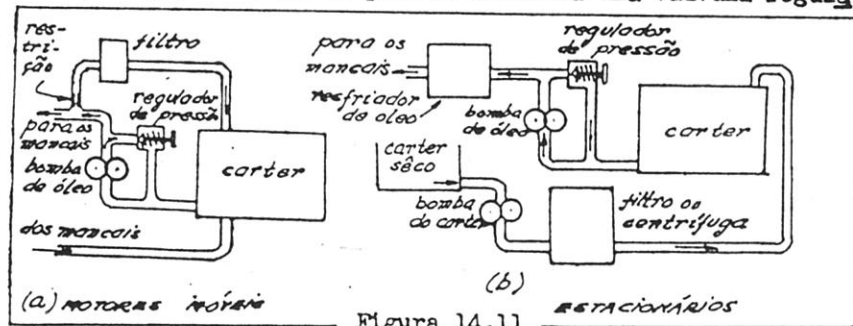


Figura 14.11

dora de pressão. Com esse sistema apenas cerca de 1/6 do fluxo total de óleo é filtrado, não se conseguindo por isso uma eliminação completa de todos os corpos estranhos. A quantidade de óleo que passa pelo filtro é regulada por um orifício.

O cárter funciona como um reservatório para o lu

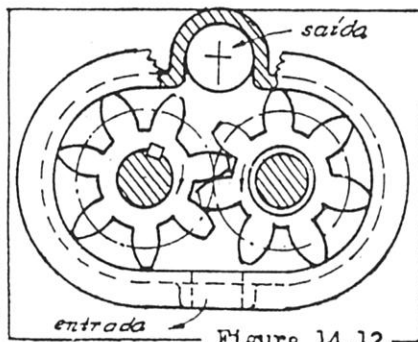


Figura 14.12

brificante e também como sistema de resfriamento. Diz-se que esse sistema tem cárter molhado.

Alguns motores fazem a ventilação do cárter com o ar do próprio ventilador, para resfriar o lubrificante bem como para procurar eliminar os vapores de água e de combustível que possam se diluir no óleo. Facilita porém a oxidação. Outros motores resfriam o lubrificante fazendo-o passar por cavidades ao longo do cárter e do bloco, de maneira a ceder calor para a atmosfera. Outros usam radiador de óleo.

O cárter molhado dos motores comuns pode conter de 0,5 a 2 galões (2 a 8 litros) de lubrificante.

Em motores grandes é encontrado um sistema como o representado na fig. 14.9(b). Neste caso todo o óleo é filtrado antes de ir para o motor. É comum encontrar, como no caso da figura, um motor com cárter seco, isto é, que não funciona como reservatório de lubrificante. Este é colocado fora.

Os filtros de óleo usados em motores têm o elemento filtrante constituído por uma peneira de aço ou então de flanela, de algodão, papel ou um material de celulose tratado quimicamente.

Alguns filtros são constituídos por um elemento filtrante feito de um material de celulose no qual se distribui uma camada de argila que remove não só as partículas sólidas mas também os contaminantes ácidos.

O separador mais eficiente é o centrífugo que gira em alta rotação purificando o óleo pela força centrífuga imprimida às partículas. A parte central é bastante pura. A centrífuga pode ser um elemento independente do conjunto e funcionar intermitentemente.

Quanto à maneira pela qual se processa a lubrificação dentro do motor pode-se ter os sistemas seguintes:

- 1- de pressão
- 2- de aspersão ou salpico
- 3- de aspersão modificado.

O primeiro sistema é utilizado em motores grandes e em alguns motores de automóveis; facilita-se bastante a lu

brificação e o resfriamento dos mancais. O óleo é mandado sob pressão para cada um dos mancais principais e destes, através de orifícios longitudinais na biela, até o pino do pistão. De maneira semelhante (ver fig. 14.13a) é lubrificado o eixo comando de válvulas as guias das válvulas (se o motor for de válvula na cabeça o óleo é levado sob pressão até o eixo dos balancins e daí até os tuchos). O óleo que escapa das diversas partes é recolhido no cárter. As paredes dos cilindros são lubrificadas pelo óleo que escapa dos mancais principais que é pulverizado por causa da alta rotação. As engrenagens de sincronização do eixo comando de válvulas são lubrificadas por um bico pulverizador especial.

Existem variantes do sistema acima, como por exemplo em que a biela não é perfurada longitudinalmente e a lubrificação do pino do pistão se faz por um orifício no mancal superior da biela por onde penetra a névoa de óleo pulverizado que existe no ambiente.

Na lubrificação por salpico ou aspersão o cárter tem dois fundos: o superior e o inferior (fig. 14.13b). A bomba leva o óleo do inferior para o superior através de um filtro. Por sua vez a biela é provida de uma haste que se choca contra o nível de óleo no cárter lubrificando o colo do girabrequim e aspergindo óleo em finas gotículas que são arrastadas pela turbulência indo lubrificar e resfriar o pistão e seu pino, a superfície do cilindro, o eixo de comando de válvulas, etc..

No terceiro sistema, de aspersão (ou salpico) melhorado, os mancais principais do virabrequim e do eixo de comando de válvulas são lubrificados sob pressão e o resto do motor por salpico (fig. 14.13c).

14.12 - A função dos anéis de lubrificação

Os anéis de lubrificação têm a finalidade de manter dentro de valores admissíveis a quantidade de óleo que passa para a câmara de combustão, motivo pelo qual na descida do pistão, os anéis devem retirar o óleo em excesso e jogá-lo para dentro do pistão de onde irão para o cárter.

Para isso pode ser usado um anel do tipo (a) ou (b). Os orifícios existentes que conduzem o óleo para den--

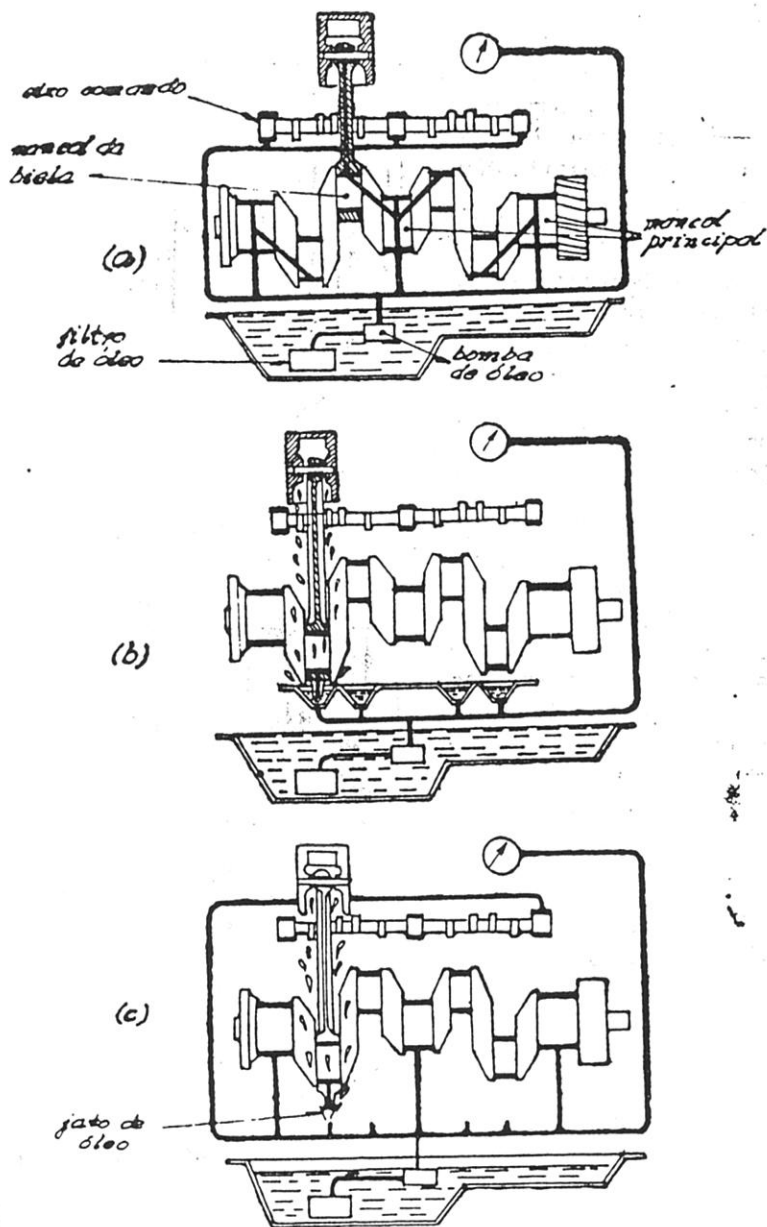


Figura 14.13

tro têm um diâmetro mínimo de 3,5 mm, para não serem obstruídos facilmente e não constituírem impedimento à passagem do óleo.

Nos motores diesel onde existem resíduos da combustão misturados com o óleo lubrificante e portanto os perigos de obstrução dos orifícios são maiores empregam-se anéis largos do tipo (b).

Quando os anéis estão gastos, criam um jogo lateral dentro da ranhura, que por sua vez exerce um tipo de bombeamento do óleo para dentro da câmara, conforme se vê na fig. 14.15.

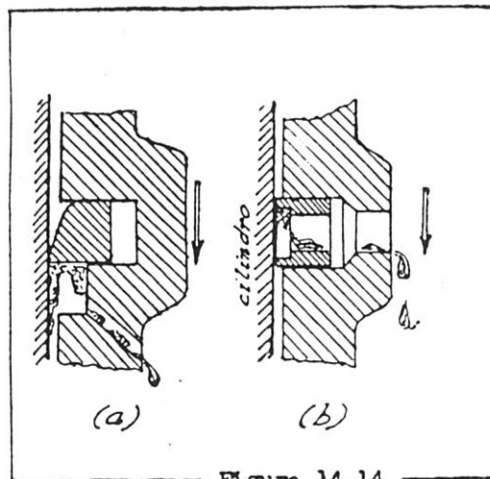


Figura 14.14

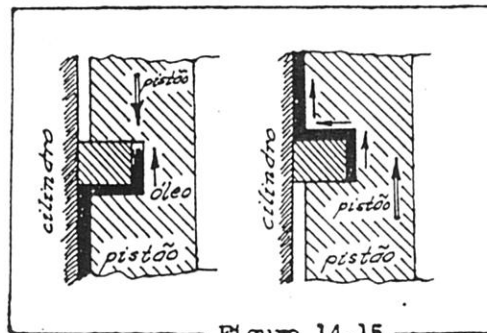


Figura 14.15