

O SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DOS MOTORES DE CICLO DIESEL

1996

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1- Introdução | 1 |
| 2- Principais diferenças entre um motor a gasolina e um a gasóleo | 1 |
| 3- Constituição do circuito de alimentação de um motor de ciclo Diesel | 2 |
| 3.1- O reservatório | 2 |
| 3.2- As condutas | 3 |
| 3.2.1- Circuito de aspiração | 4 |
| 3.2.2- Circuito de baixa pressão | 4 |
| 3.2.3- Circuito de escoamento livre | 4 |
| 3.2.4- Circuito de alta pressão | 4 |
| 3.3- A bomba de alimentação | 5 |
| 3.3.1- Bomba de alimentação de membrana | 5 |
| 3.3.2- Bomba de alimentação de êmbolo | 6 |
| 3.4- Os filtros | 6 |
| 3.4.1- O pré-filtro | 7 |
| 3.4.2- O filtro principal | 7 |
| 3.4.2.1- Filtro simples | 8 |
| 3.4.2.2- Filtro duplos | 9 |
| 3.5- As bombas de injeção | 9 |
| 3.5.1- Bombas de injeção em linha | 9 |
| 3.5.1.1- Constituição de uma bomba de injeção em linha | 10 |
| 3.5.1.2- Funcionamento de uma bomba de injeção em linha | 10 |
| 3.5.1.3- Regulação de uma bomba de injeção em linha | 12 |
| 3.5.2- Bombas de injeção rotativas | 14 |
| 3.5.2.1- Constituição de uma bomba de injeção rotativa | 15 |
| 3.5.2.2- Funcionamento de uma bomba de injeção rotativa | 16 |
| 3.6- Os injetores | 20 |
| 3.6.1- Constituição de um injetor | 20 |
| 3.6.2- Funcionamento de um injetor | 21 |
| 3.6.3- Principais tipos de injetores | 22 |
| 4- Os reguladores das bombas de injeção | 23 |
| 4.1- Os reguladores das bombas de injeção em linha | 23 |
| 4.1.1- Os reguladores mecânicos centrífugos | 23 |
| 4.1.2- Os reguladores pneumáticos | 24 |
| 4.1.3- O grau de irregularidade de um regulador | 26 |
| 4.2- Os reguladores das bombas de injeção rotativas | 26 |
| 5- Diferentes tipos de injeção | 27 |

| | |
|--|----|
| 5.1- Injeção indireta | 27 |
| 5.1.1- Motores com câmara de turbulência | 28 |
| 5.1.2- Motores com câmara de pré-combustão | 28 |
| 5.2- Injeção direta | 29 |
| | |
| Bibliografia | 31 |

1- Introdução

Os motores de ciclo Diesel tem vindo a substituir gradualmente os motores de ciclo Otto, podendo dizer-se que hoje já não existem tratores a funcionar a gasolina. As razões para esta evolução prendem-se com o preço dos combustíveis, pois o gasóleo é mais barato, e com a economia resultante da utilização de bombas de injeção, que permitem um doseamento mais eficaz do combustível.

O objetivo principal dos sistemas de injeção é distribuir na câmara de combustão, durante o tempo de injeção, de uma forma homogénea e num momento bem preciso, uma determinada quantidade de combustível.

2- Principais diferenças entre um motor a gasolina e um a gasóleo

As principais diferenças entre os motores a gasolina e a gasóleo são as seguintes:

- nos motores a gasolina a mistura do ar com o combustível é efetuada ao nível do carburador devido à deslocação de ar resultante da sucção produzida no interior do cilindro pelo deslocamento do êmbolo para o seu ponto morto inferior. Nos motores a gasóleo não há esta mistura prévia no exterior do cilindro pois o gasóleo é injetado diretamente para o interior deste;
- a inflamação nos motores de ciclo Diesel resulta da sua pulverização num dado volume de ar, que se encontra a uma temperatura elevada ($> 600^{\circ}$), enquanto nos motores a gasolina é necessário a formação de uma chispa para desencadear a combustão;
- nos motores de ciclo Diesel utiliza-se, geralmente, como combustível o gasóleo, embora, devido à elevada pressão de injeção se possa utilizar destilados de petróleo de maior peso molecular. Estes, devido ao menor grau de refinação, são mais baratos, embora o consumo dos motores seja mais elevado;
- a taxa de compressão nos motores de ciclo Diesel é mais elevada que nos motores de ciclo Otto (\pm duas vezes) pois no fim da compressão, a pressão no interior da câmara é superior a 40 kg/cm^2 . Esta pressão implica que a pressão de injeção tenha de ser muito superior aquele valor ($> 160\text{-}170 \text{ kg/cm}^2$) pois, para além de ter de vencer a pressão reinante na câmara, é preciso que o gasóleo seja finamente pulverizado. Nos motores a gasolina esta é introduzida no cilindro praticamente vaporizada, mas nos motores a gasóleo o combustível apenas sofre, durante o tempo de injeção, uma vaporização parcial, mantendo-se dividido em pequenas gotículas, o que dificulta a sua combustão;
- considerando a diferença das taxas de compressão os motores a gasóleo terão forçosamente de ser mais robustos que os a gasolina.

3- Constituição do circuito de alimentação de um motor de ciclo Diesel

A injeção do combustível na quantidade correta, a uma determinada pressão e no momento preciso, são basicamente as principais funções do sistema de alimentação de um motor de ciclo Diesel, que compreende os seguintes elementos:

- um reservatório;
- várias condutas;
- uma bomba de alimentação;
- filtros;
- uma bomba de injeção;
- injetores.

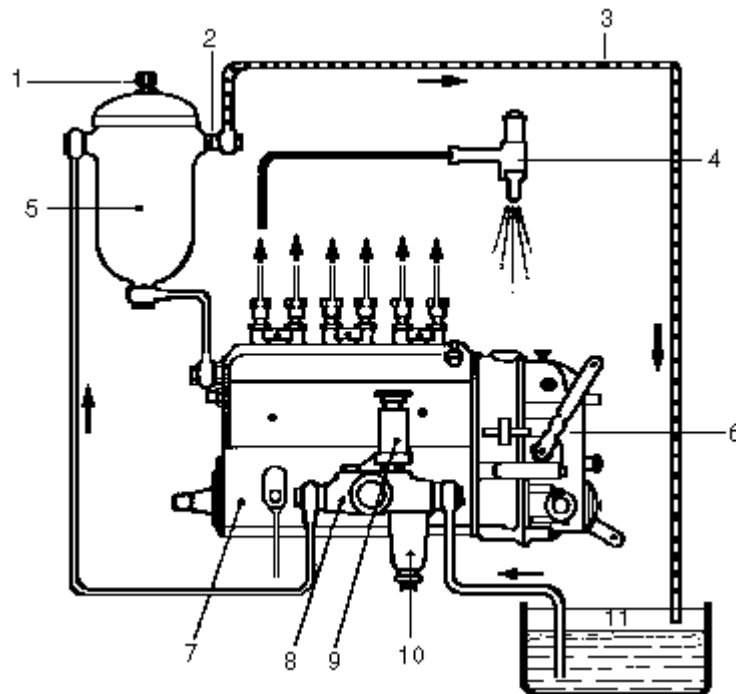


Figura 1- Esquema do circuito de alimentação de um motor Diesel de 4 cilindros.

1- Parafuso de purga 2- Válvula de descarga 3- Circuito de retorno 4- Porta injetor e injetor 5- Filtro 6- Regulador 7- Bomba injetora 8- Bomba de alimentação 9- Bomba manual 10- Pré-filtro 11- Reservatório

Fonte: CNEEMA (1976)

3.1- O reservatório

O reservatório é o tanque onde está armazenado o combustível, sendo a sua forma e dimensão muito variada, pois depende de aspetos práticos, nomeadamente da forma e volume do espaço existente; o seu volume deve permitir, no entanto, uma autonomia suficiente para trabalhar um dia, mas não deve ser demasiado grande para não aumentar significativamente a massa do equipamento.

Relativamente à sua colocação pode ser montado em carga, ou seja, a um nível superior ao da bomba de injeção, como acontece na maioria dos tratores, ou a um nível inferior, como é geralmente o caso das ceifeiras debulhadoras, sendo necessário, neste caso, uma bomba de alimentação para assegurar o transporte do gasóleo até à bomba de injeção.

Cada reservatório apresenta, pelo menos, três orifícios que servem para o enchimento, para a alimentação do circuito e para o vazamento, e um filtro à saída e outro à entrada; para além daqueles orifícios pode haver outros para o(s) circuito(s) de retorno. A presença dos filtros prende-se com a necessidade que existe de se evitar a introdução de impurezas. A presença de água no reservatório deve-se geralmente a dois fatores:

- à falta de estanquicidade ou a fechar-se mal o tampão do reservatório;
- à humidade existente no ar que entra no reservatório à medida que o nível do combustível baixa e que, quando a temperatura no exterior diminui, se condensa formando gotas que se depositam no fundo daquele. Para atenuar este fenómeno aconselha-se a encher o reservatório ao fim de cada dia de trabalho, devendo-se, periodicamente, retirar a água que se acumula no fundo do reservatório. Não estando a entrada do tubo de alimentação do gasóleo junto ao fundo do reservatório é necessário um volume de água acumulada importante para que possa entrar no circuito.

Nas regiões com baixas temperaturas podem-se formar cristais de parafina no gasóleo, que impedem o seu escoamento, obstruindo os filtros. Para evitar este fenómeno deve-se utilizar combustível pré-filtrado, juntar-se-lhe aditivos anticongelante ou montar um sistema de aquecimento do combustível.

3.2- As condutas

As condutas existentes no sistema de injeção são de vários tipos conforme a pressão reinante em cada parte do circuito, pelo que são identificados como:

- circuito de aspiração (depressão);
- circuito de baixa pressão;
- circuito de escoamento livre;
- circuito de alta pressão.

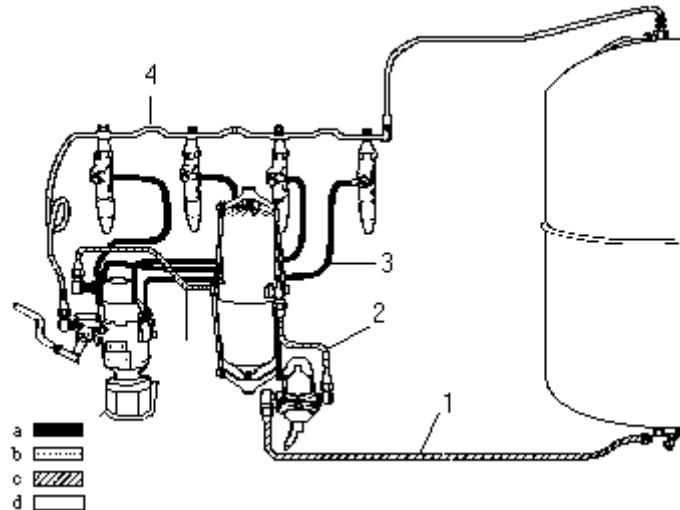


Figura 2- As diferentes condutas do sistema de alimentação

1- Tubo de chegada do combustível 2- Tubos intermédios 3- Tubos de injeção 4- Tubos de retorno
a- alta pressão b- pressão média c- pressão por gravidade ou depressão d- pressão nula

Fonte: Deterre (1983)

3.2.1- Circuito de aspiração

O circuito aspiração ou de depressão liga o reservatório à bomba de alimentação podendo, caso penetre ar no seu interior, conduzir à paragem do motor; os tubos utilizados nesta parte do circuito são maleáveis e pouco resistentes à pressão.

3.2.2- Circuito de baixa pressão

Nesta parte do circuito, compreendida entre a bomba de alimentação e injeção, o gasóleo está sujeito a uma pequena pressão (0.3 - 2 bar), variável conforme o tipo de bomba injetora; a falta de estanquicidade nesta parte provoca uma saída visível de combustível e as condutas utilizadas são semelhantes às do circuito de aspiração.

3.2.3- Circuito de escoamento livre

O circuito de escoamento livre permite o retorno do gasóleo em excesso em determinado ponto do sistema de alimentação, nomeadamente da bomba injetora e dos injetores.

3.2.4- Circuito de alta pressão

O circuito de alta pressão liga a bomba injetora aos injetores sendo as suas condutas em metal e muito resistentes à pressão, pois esta atinge valores superiores a 200 bar. Caso estas condutas se deformassem sob o efeito da pressão, o seu volume interno seria alterado o que retardaria a chegada do gasóleo ao injetor. Na realidade verificam-se pequenas deformações, invisíveis a olho nu que, considerando a duração da injeção e as quantidades injetadas, fazem com

que se verificarem pequenos atrasos na injeção que são, no entanto, compensados ao nível da bomba injetora.

É fundamental que os tubos de alta pressão tenham as mesmas características para que os fenómenos descritos tenham a mesma importância em todos eles.

3.3- A bomba de alimentação

A bomba de alimentação, que se encontra colocada entre o reservatório e a bomba injetora, é indispensável quando aquela se encontra a um nível mais baixo que esta, pois evita quebras de alimentação da bomba injetora, permitindo um funcionamento regular do motor. Entre o reservatório e a bomba de alimentação deve haver um pré-filtro. Estas bombas possuem, geralmente, um comando manual que permite fechar e purgar o circuito.

Relativamente aos principais tipos de bombas tem-se:

- a bomba de membrana;
- a bomba de êmbolo.

3.3.1- Bomba de alimentação de membrana.

Este tipo de bomba, que é utilizado quando a bomba injetora é rotativa, podendo mesmo estar incorporada nesta, é semelhante à utilizada nos motores de ciclo Otto; este tipo de bomba permite comprimir o combustível a pressões de 100-300 g/cm².

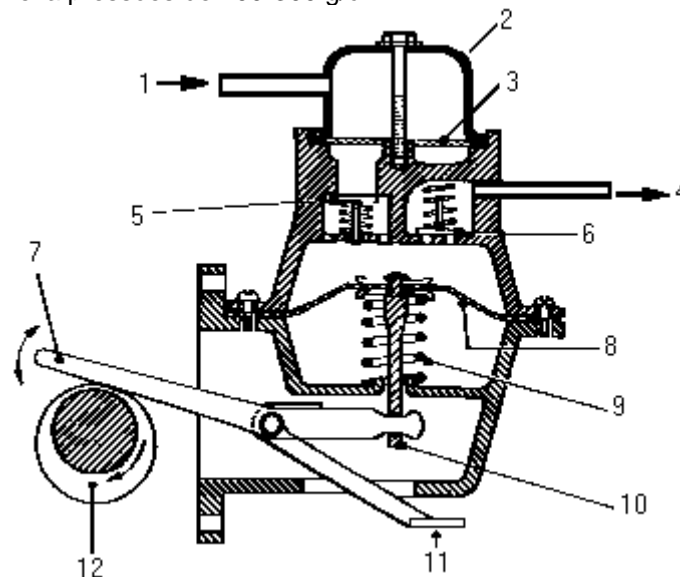


Figura 3- Esquema representativo de uma bomba de alimentação de membrana.

1- Entrada do combustível 2- Tampa 3- Filtro 4- Saída do combustível 5- Válvula de aspiração 6- Válvula de refluxo 7- Alavanca de acionamento 8- Membrana 9- Mola 10- Veio de comando 11- Alavanca para comando manual 12- Excêntrico.

Fonte: CNEEMA (1976)

Como se pode observar na figura 3 a bomba é acionada mecanicamente por um excêntrico, que recebe o movimento da cambota e que, através de uma alavanca, desloca a membrana da bomba num sentido, voltando esta à posição inicial por ação de uma mola. Quando a membrana desce, devido à ação da alavanca acionada pelo excêntrico, cria-se no interior da câmara de alimentação uma depressão que faz abrir a válvula de aspiração, entrando o combustível; quando a ação da alavanca deixa de se fazer sentir a mola faz subir a membrana, provocando a compressão do líquido e, conseqüentemente, a abertura da válvula de refluxo saindo o gasóleo para a bomba injetora; a pressão do combustível nestas bombas depende da tensão da mola.

Este tipo de bomba pode ser acionado manualmente o que permite fazer a purga do sistema até à bomba injetora.

3.3.2- Bomba de alimentação de êmbolo.

Este tipo de bomba aparece geralmente montada junto das bombas injetoras em linha e é acionada por um excêntrico desta bomba, atingindo o combustível pressões entre 0.8 a 1.5 bar; o movimento em sentido contrário do êmbolo resulta da pressão exercida por uma mola.

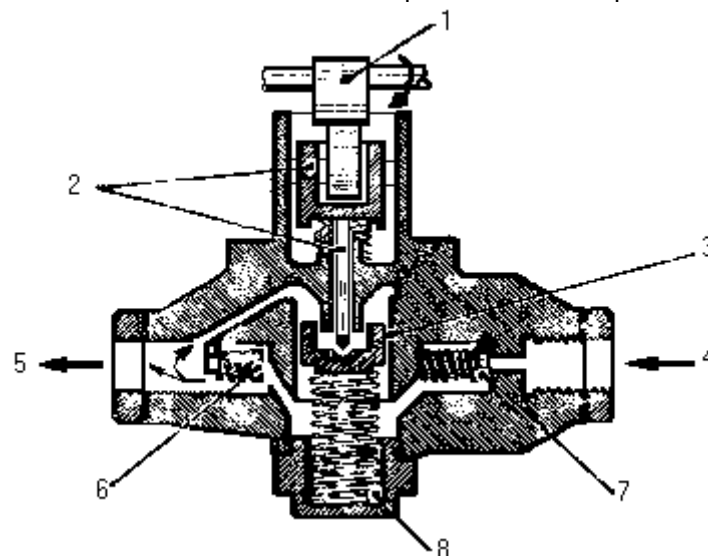


Figura 4- Esquema representativo de uma bomba de alimentação de êmbolo.
1- Excêntrico 2- Impulsores 3- Êmbolo 4- Entrada de combustível 5- Saída de combustível 6- Válvula de saída 7- Válvula de aspiração 8- Mola
Fonte: CNEEMA (1976)

À semelhança da bomba anterior existem igualmente válvulas para entrada e saída do gasóleo, podendo o seu acionamento ser também manual.

3.4- Os filtros

A presença de filtros no sistema de alimentação dos motores a gasóleo é fundamental pois as suas peças apresentam um grau de acabamento muito preciso, com folgas muito pequenas, que não

permitem a presença de impurezas no gasóleo. Estas impurezas poderiam causar graves problemas, bloqueando inclusivamente a injeção, caso se alojassem ao nível dos bicos dos injetores. A sua presença ao nível das bombas de alimentação são geralmente menos graves mas podem fazer com que as válvulas não se fechem completamente dificultando o seu funcionamento.

Os produtos que mais frequentemente aparecem como impurezas no gasóleo são os silicatos, que funcionam como abrasivos, e o enxofre que, quando misturado com a água, forma resíduos ácidos que corroem o material. Para além destes a água resultante da condensação do vapor pode danificar (gripar) os elementos das bombas de injeção.

Relativamente aos tipos de filtros existentes tem-se:

- o pré-filtro;
- o filtro principal.

3.4.1- O pré-filtro

O pré-filtro, que se encontra colocado entre o reservatório e a bomba de alimentação, podendo ser montado juntamente com esta, é constituído por uma rede metálica, com uma malha de $\pm 10 \mu\text{m}$ e um copo, geralmente em vidro, onde se deposita a água e as impurezas mais pesadas.

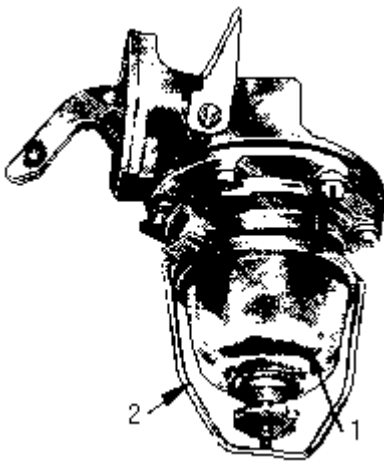


Figura 5- Pré-filtro montado sobre uma bomba de alimentação de membrana

1- Filtro 2- Suporte da taça de vidro.

Fonte: CNEEMA (1976)

As principais funções dos pré-filtros são:

- proteger a bomba de alimentação;
- reter a água;
- retardar a colmatagem do filtro principal.

3.4.2- O filtro principal

O filtro principal, que se situa depois da bomba de alimentação, tem como principal função proteger a bomba de injeção; pode apresentar um ou dois elementos filtrantes, designando-se então por filtro simples e duplo.

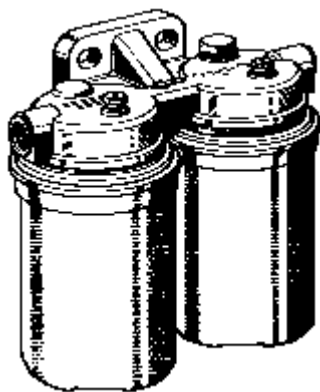


Figura 6- Representação de um filtro constituído por dois elementos filtrantes.

Fonte: Deterre (1983)

Relativamente ao material filtrante é, geralmente, utilizado tela de nylon, papel de feltro ou papel tratado quimicamente, para aglutinar à sua superfície as impurezas; estes elementos não devem deixar passar partículas de diâmetro superior a 2 - 3 μm , nem provocar perdas de pressão superiores a 500 g/cm^2 e devem ter uma grande superfície de filtração num volume pequeno. Os elementos filtrantes não devem nunca ser limpos, mas sim substituídos em conformidade com os intervalos indicados pelos fabricantes.

3.4.2.1- Filtro simples

No filtro simples o elemento filtrante, geralmente designado por cartucho, é substituível e apresenta na sua parte inferior uma cuba para deposição de água. Esta cuba possui, geralmente, na sua parte inferior um parafuso de purga para periodicamente se removerem as impurezas mais pesadas e a água decantada; na cobertura superior de alguns filtros existe um parafuso de purga que permite remover (purgar) o ar do circuito.

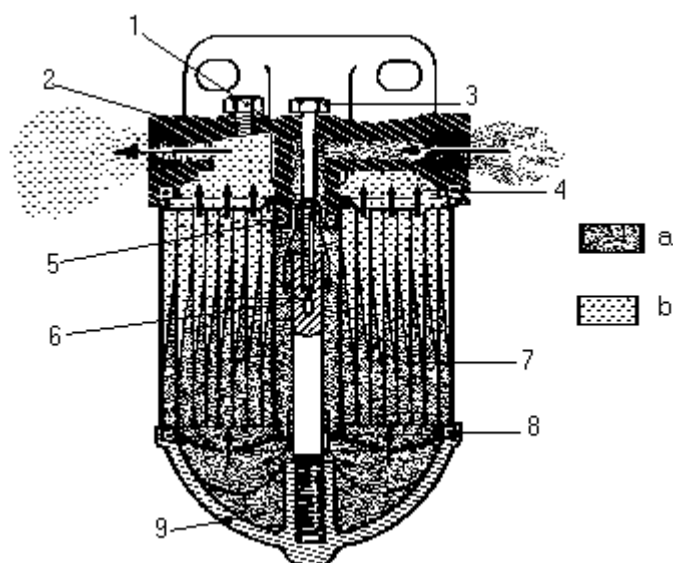


Figura 7- Representação de um corte de um filtro simples.

1- Parafuso de purga 2- Tampa do filtro 3- Parafuso de ligação do elemento filtrante 4- Junta de estanquicidade 5- Junta 6- Porca central 7- Cartucho 8- Junta de estanquicidade 9- Taça do filtro.

a- gás-óleo não filtrado b- gás-óleo filtrado

Fonte: CNEEMA (1976)

3.4.2.2- Filtro duplo

Os filtros duplos podem ser constituídos por elementos diferentes ou semelhantes sendo, no primeiro caso, montados em série, ou seja, o combustível passa pelos dois elementos; o primeiro destes elementos filtra as impurezas de maior dimensão e retém a água e, o segundo, em que o elemento filtrante é um cartucho de papel, remove as impurezas mais pequenas. Nos filtros em série a filtração é mais eficiente mas, nos em paralelo, em que cada elemento assegura apenas a filtração de parte do gasóleo, verificam-se menores perdas de carga e, portanto, um maior débito de gasóleo.

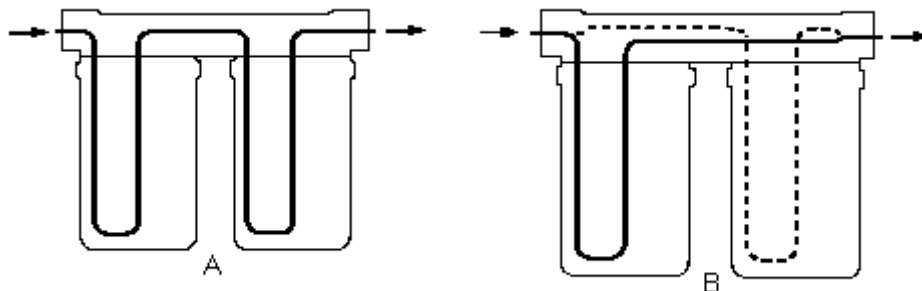


Figura 8- Representação do circuito do gasóleo nos filtros duplos montados em série (A) e em paralelo (B).
Fonte: Deterre (1983)

Para além destes filtros pode ainda existir um último, metálico e alongado, colocado na conduta, junto ao injetor.

3.5- As bombas de injeção

As bombas de injeção tem como principal objetivo alimentar cada cilindro, de forma regular, precisa e no momento oportuno, com a quantidade de combustível necessária. O tempo de injeção é de apenas alguns milésimos de segundo, correspondente a cerca de 1/10 de volta do veio da bomba, o que, para um regime de 2400 rpm, são ± 2.5 milésimos de segundo.

A quantidade de gasóleo injetado para uma cilindrada unitária de 1 L é, quando o motor funciona em plena carga, de $\pm 1 / 20 \text{ cm}^3$ e de $1 / 100 \text{ cm}^3$ sem carga.

Os principais tipos de bombas injetoras são:

- as bombas de injeção em linha;
- as bombas de injeção rotativas.

3.5.1- Bombas de injeção em linha

A bomba de injeção em linha é caracterizada por ter tantos elementos quanto o número de cilindros do motor e por aqueles estarem colocados uns a seguir aos outros.

3.5.1.1- Constituição de uma bomba de injeção em linha

Considerando cada um dos elementos das bombas em linha eles são constituídos, basicamente, por um cilindro no qual se desloca um êmbolo, que é acionado por um excêntrico existente no veio da bomba, cujo movimento é metade do da cambota do motor; o êmbolo volta à posição inicial pela pressão de uma mola. Sendo mínima a folga existente entre o êmbolo e o cilindro, estas peças não podem ser substituídas separadamente.

Relativamente ao cilindro este apresenta, perto do topo superior, duas janelas uma para entrada e outra para a saída do gasóleo; o combustível está sob uma pressão compreendida entre 0.8 a 1.5 bar, que é conferida pela bomba de alimentação.

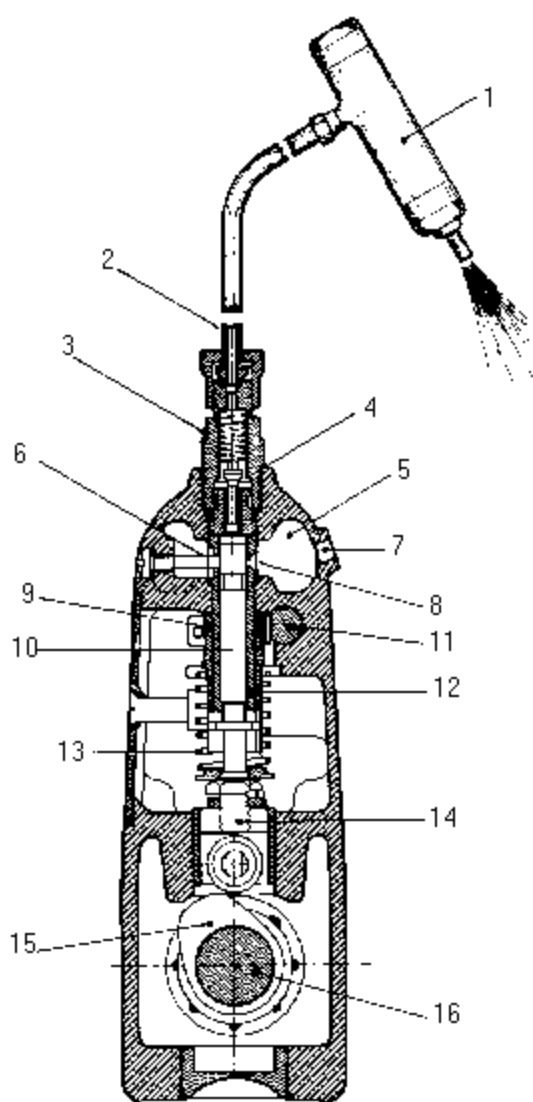


Figura 9- Representação de um elemento de uma bomba de injeção em linha

- 1- Injetor 2- Tubo de alta pressão 3- Condução de saída
 - 4- Válvula de descarga 5- Câmara de alimentação
 - 6- Janela de descarga 7- Entrada do combustível
 - 8- Janela de admissão 9- Sector dentado 10- Êmbolo mergulhador
 - 11- Cremalheira 12- Cilindro 13- Mola 14- Taco 15- Excêntrico 16- Árvore de cames.
- Fonte: CNEEMA (1976)

O êmbolo apresenta na sua parte superior uma ranhura vertical que vai do topo até a um anel cavado no próprio êmbolo; nesta parte do êmbolo, cujo curso é constante, existe um corte em espiral que permite, por rotação, abrir mais cedo ou mais tarde a janela de saída do combustível, regulando assim a quantidade de gasóleo injetado.

3.5.1.2- Funcionamento de uma bomba de injeção em linha

Relativamente ao funcionamento desta bomba quando o êmbolo se desloca para a sua posição mais baixa, depois de abertas as janelas de entrada do combustível, este enche o cilindro (fase de admissão), sendo o gasóleo, quando do movimento do êmbolo para o ponto morto superior, depois de fechadas aquelas janelas, comprimido e injetado na câmara de combustão (fase de injeção). O movimento do êmbolo para o ponto morto superior resulta da pressão dos excêntricos do veio da bomba e, para o ponto morto inferior, da distensão das molas anteriormente comprimidas.

A interrupção da injeção (fim da injeção) dá-se quando da abertura das janelas do cilindro pela rampa helicoidal do êmbolo, deslocando-se o gásóleo para a câmara de alimentação onde a pressão é pequena.

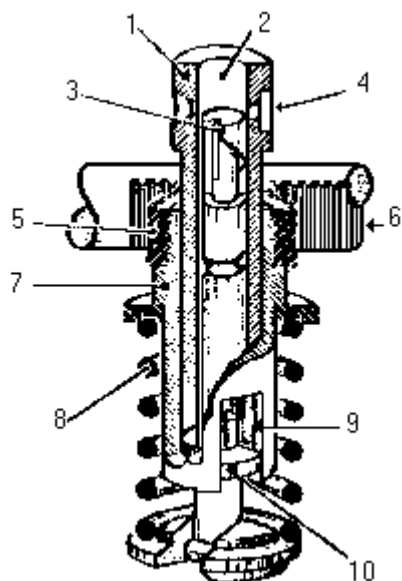


Figura 10- Representação dos mecanismos de comando de rotação do êmbolo.

1- Cilindro 2- Câmara de compressão 3- Êmbolo 4- Janela de admissão 5- Sector dentado 6- Cremalheira 7- Encaixe para o cilindro 8- Mola do êmbolo 9- Ranhura 10- Dedo de comando de rotação do êmbolo.

Fonte: CNEEMA (1976)

Considerando os aspetos apresentados verifica-se que, sendo o curso do êmbolo constante, a quantidade de gásóleo injetado depende do curso útil do êmbolo, que corresponde à distância entre a aresta superior do êmbolo, que fecha as janelas do cilindro e o corte, em espiral, que as abre.

A variação de débito pode ir desde o débito nulo, que corresponde à colocação da ranhura vertical do êmbolo em frente das janelas de saída, situação em que se verifica comunicação entre a câmara de compressão do cilindro e a câmara de admissão. O débito máximo é obtido quando o êmbolo se encontra na posição em que as janelas de admissão só são abertas pela parte inferior do corte helicoidal, ou seja, o curso útil do êmbolo é máximo.

Existem bombas de injeção em linha que não têm uma árvore de cames nem cárter próprio, pois são incorporadas no bloco motor e acionadas pela árvore de cames deste, que tem excentricidades próprias para esse efeito. Estas bombas podem ser constituídas por conjuntos de 2 - 3 elementos, ou terem estes separados, designando-se, neste caso, por bombas individuais.

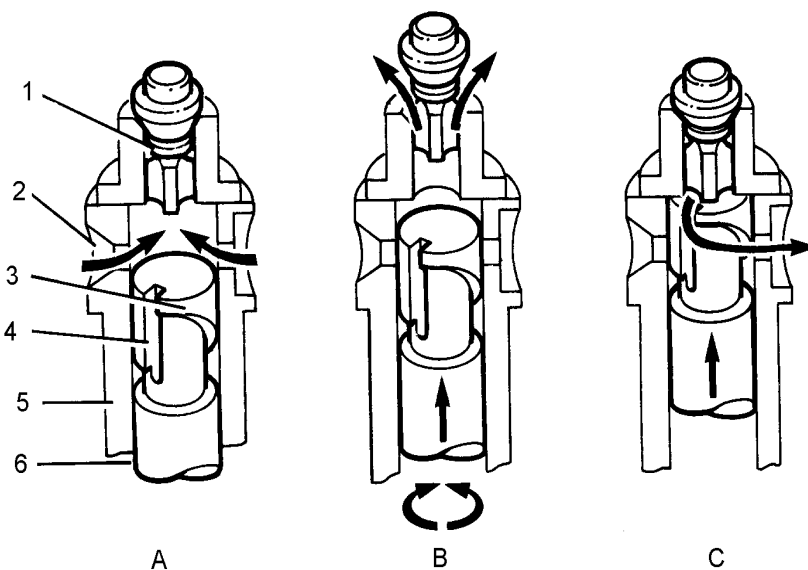


Figura 11- Funcionamento de um elemento de uma bomba de injeção em linha

A- Alimentação B- Injeção C- Fim da injeção

1- Válvula de descarga 2- Alimentação 3- Rampa helicoidal 4- Ranhura vertical 5- Cilindro 6- Embolo

Fonte: CEMAGREF (1991)

Depois do gásóleo começar a ser comprimido a válvula de descarga existente no topo do cilindro abre-se sendo aquele conduzido através de condutas de alta pressão até aos injetores. As válvulas de descarga evitam o retorno do gásóleo e fazem a reaspiração de parte deste da conduta de alta pressão. Esta interrupção brusca da pressão evita a injeção a uma pressão inferior à desejada e a formação de uma gota de combustível no bico do injetor; o retorno da válvula à sede obtém-se pela pressão de uma mola, que é comprida com pressões superiores a 40 bar, resultando a reaspiração da penetração do êmbolo da válvula no corpo do cilindro onde está montada, provocando assim a quebra brusca da pressão.

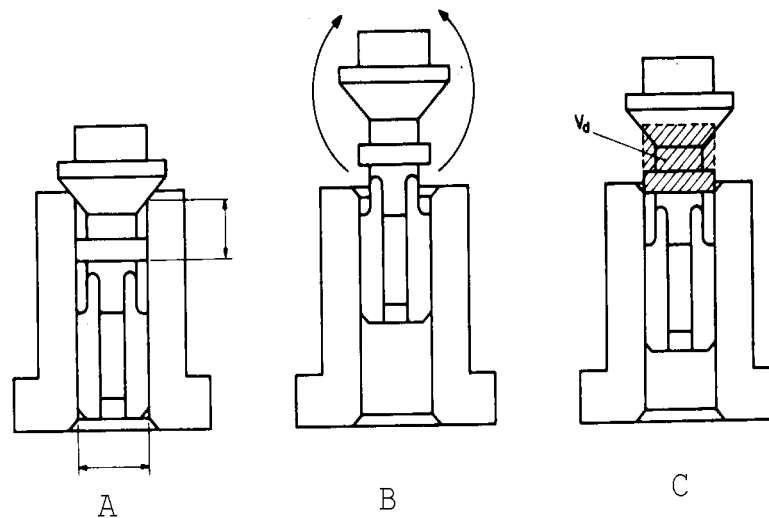


Figura 12- Válvula de descarga, anti-retorno ou aspiração.
A- Válvula fechada B- Passo aberto C- Descida e criação da reaspiração (Vd)
Fonte: Imperial (1980)

A rotação dos êmbolos, para fazer variar o débito da injeção, é obtida por uma cremalheira cujo deslocamento depende da posição do pedal do acelerador ou do regulador da bomba.

3.5.1.3- Regulação de uma bomba de injeção em linha

A regulação da bomba de injeção em linha, pode ser efetuada de uma forma estática, tendo como objetivo sincronizar o início da injeção de um elemento da bomba com o avanço à injeção no cilindro motor indicado pelo construtor. Este avanço, que corresponde ao começo da injeção antes do êmbolo atingir o PMS, designa-se por avanço à injeção e é medido em graus antes do êmbolo atingir o PMS no fim da compressão. O avanço à injeção, que se prende com a demora que se verifica entre o início da injeção e a autoinflamação do combustível, compreende o avanço inicial e o avanço automático, que condicionam as prestações e duração do motor. O primeiro é um avanço angular estático que determina o sincronismo da bomba de injeção com o motor e, o segundo permite, nos motores rápidos, aumentar automaticamente o avanço em função da velocidade e carga, para compensar o atraso da injeção e a autoinflamação que permanecem praticamente constantes.

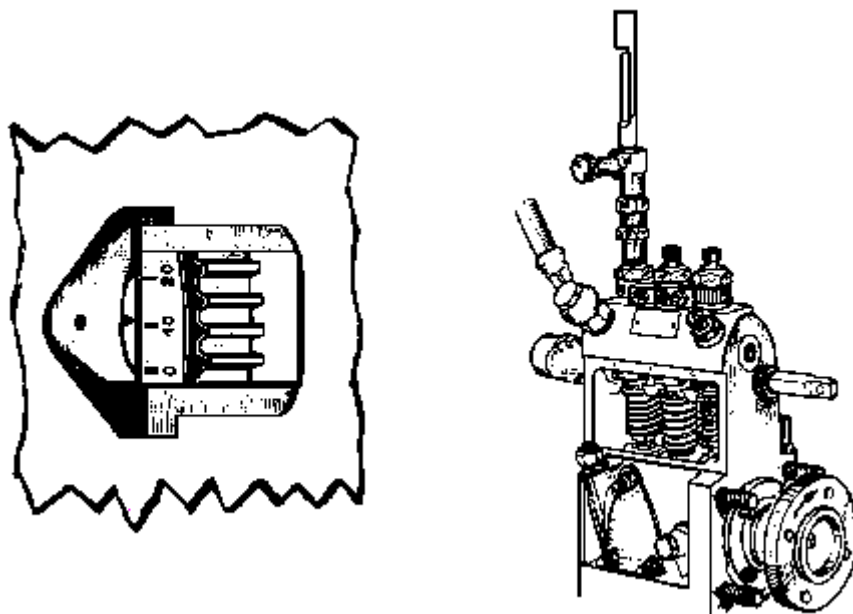


Figura 13 e 14- Esquema representativo das marcas existentes no volante motor relativamente ao avanço da injeção e colocação de um tubo capilar num dos elementos para determinar a altura de injeção.

Fonte: CNEEMA (1976)

As principais operações necessárias para esta regulação estática são as seguintes:

- colocação do êmbolo do cilindro nº 1 perto do PMS ou mais exatamente no ponto de injeção. Esta operação é facilitada pela presença de marcas no volante motor ou na polea da cambota;
- enchimento da bomba e rotação, à mão, do seu eixo, no sentido de funcionamento, até se observar no tubo capilar, colocado na posição do tubo de alta pressão, a deslocação do combustível resultante da injeção;
- montagem da bomba na posição correta tendo o cuidado de não rodar o seu veio e manter as referências do ponto de injeção na posição correta.

A regulação dinâmica é geralmente efetuada por um corretor de avanço incorporado na própria bomba, cujas massas se deslocam sob a ação da força centrífuga. Quando o regime aumenta o afastamento das massas provoca um deslocamento angular do veio da bomba por forma a aumentar o avanço à injeção; os êmbolos destas bombas apresentam no topo uma rampa helicoidal semelhante à que permite variar o curso útil.

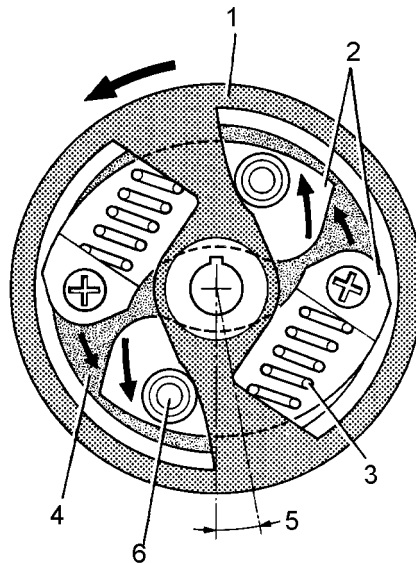


Figura 15- Corretor centrífugo de avanço

1- Elemento conduzido ligado à bomba de injeção 2- Massas 3- Mola 4- Prato condutor 5- Ângulo de avanço 6- Rolete

Fonte: CEMAGREF (1991)

3.5.2- Bombas de injeção rotativas

As bombas de injeção rotativas são utilizadas principalmente nos motores com médios e altos regimes, em que há necessidade de uma frequência muito elevada de injeções, de baixo volume. Estas bombas são geralmente montadas em motores de 3 - 6 cilindros, de potência inferior a 110 kW. A designação destas bombas deve-se à colocação em círculo das condutas de alta pressão que transportam o gasóleo até aos injetores.

Relativamente às bombas em linha, e para além da sua menor dimensão, as suas principais vantagens são:

- manutenção reduzida graças à lubrificação e refrigeração assegurada pelo gasóleo;
- ausência de rolamentos, carretos e molas sujeitos a grandes tensões;
- pequeno número de peças em movimento;
- possibilidade de montagem em qualquer posição.

O principal inconveniente das bombas rotativas relaciona-se com a sua grande sensibilidade às impurezas e água existentes no combustível.

3.5.2.1- Constituição de uma bomba de injeção rotativa

Este tipo de bombas, cuja rotação, nos motores de quatro tempos, é metade do regime da cambota, apresenta características específicas conforme os construtores, nomeadamente ao nível do sistema de dosagem e regulação, mas todas elas tem determinados aspetos comuns, como sejam:

- a injeção resultar da pressão de um excêntrico sobre um êmbolo;
- o número de excêntricos ser igual ao de cilindros;
- o elemento de distribuição rodar a uma velocidade igual a metade do regime motor;
- a bomba de transferência (alimentação) ser incorporada na bomba de injeção.

Considerando um dos tipos de bombas mais utilizados nos tratores verifica-se que existe apenas um elemento para compressão do combustível, que é constituído por dois êmbolos opostos, com movimento simétrico, que estão colocados num rotor central que se encontra montado, com grande precisão, numa cabeça hidráulica.

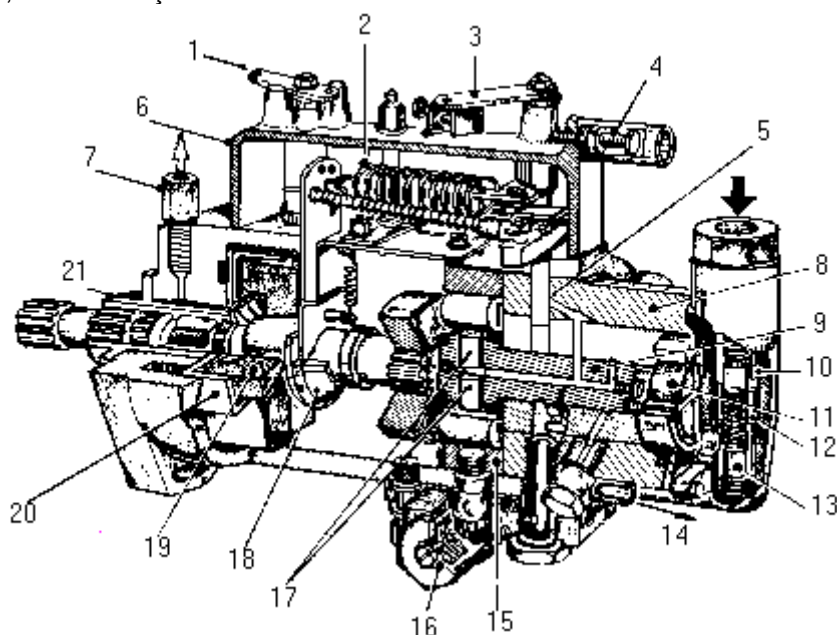


Figura 16- Esquema de uma bomba rotativa CAV, tipo DPA

1- Alavanca de paragem 2- Mola do regulador 3- Alavanca do acelerador 4- Batente para regulação da velocidade máxima 5- Válvula de dosagem 6- Tampa 7- Retorno 8- Cabeça hidráulica 9- Rotor 10- Filtro 11- Bomba de transferência 12- Cilindro da válvula reguladora de pressão 13- Êmbolo da bomba de transferência 14- Saída para o injetor 15- Anel dos excêntricos 16- Dispositivo corretor do avanço automático 17- Êmbolos 18- Manga 19- Massas centrífugas 20- Carter 21- Veio de acionamento.

Fonte: CNEEMA (1976)

A pressão do gasóleo neste tipo de bomba deve-se fundamentalmente ao rotor, que é o elemento de distribuição que assegura alternativamente a aspiração (admissão) e saída (injeção) do combustível, devido ao afastamento e aproximação dos êmbolos.

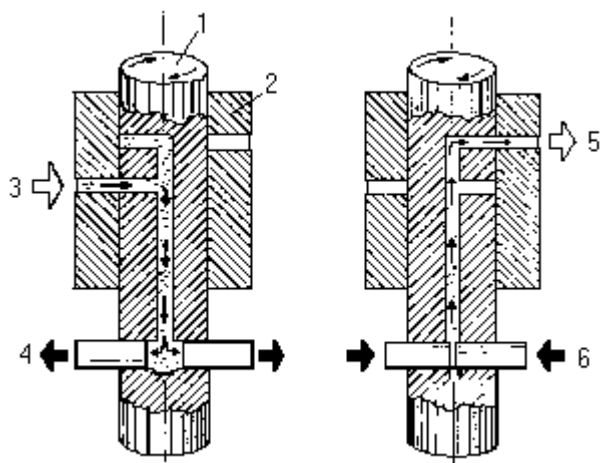


Figura 17- Representação do trajeto do combustível na cabeça hidráulica e rotor
 1- Rotor 2- Cabeça hidráulica 3- Entrada de combustível 4- Afastamento dos êmbolos
 5- Saída do combustível para os injetores 6- Aproximação dos êmbolos.
 Fonte: CNEEMA (1976)

3.5.2.2- Funcionamento de uma bomba de injeção rotativa

O funcionamento nestas bombas resulta da pressão conferida ao gasóleo pelos dois êmbolos que, por ação dos excêntricos e por intermédio de dois roletes, provocam a sua aproximação resultando o seu afastamento da pressão do combustível e força centrífuga; os excêntricos encontram-se desenhados no interior de um anel fixo.

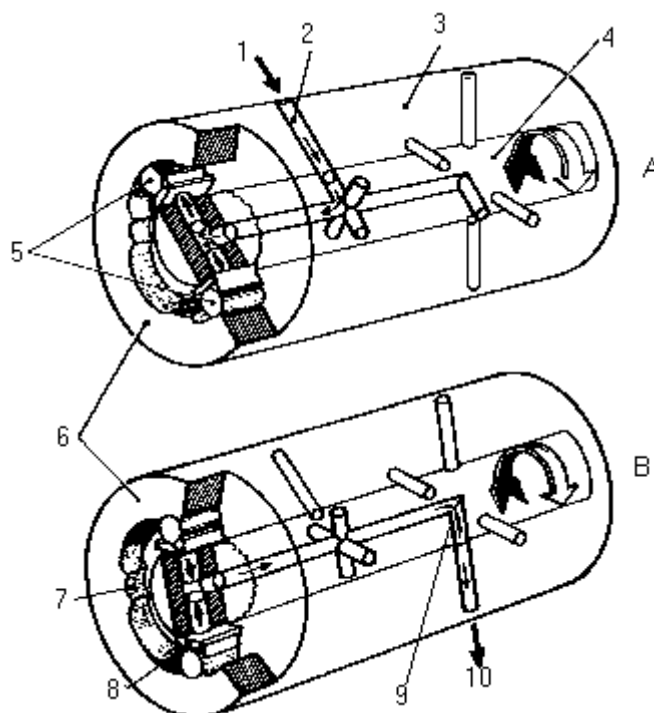


Figura 18- Representação do funcionamento de um elemento de bomba na cabeça hidráulica e distribuidor de um motor de quatro cilindros. A- Fase de admissão de combustível B- Fase de injeção do combustível.

1- Entrada do combustível 2- Canal de dosagem 3- Cabeça hidráulica 4- Rotor 5- Roletes 6- Anel dos excêntricos 7- Excêntrico 8- Patim 9- Conduta transversal para saída do combustível do rotor 10- Saída do combustível para o injetor
 Fonte: CNEEMA (1976)

Como se observa na figura 18 o canal central do rotor está em comunicação com a bomba de alimentação por uma conduta transversal, correspondente ao orifício de dosagem da cabeça hidráulica; a bomba de alimentação também se designa por bomba de transferência pois imprime uma dada pressão ao gasóleo. A pressão de transferência conferida ao combustível pela bomba de

transferência colocada na extremidade da bomba de injeção e acionada pelo seu rotor, ajuda ao afastamento dos êmbolos preenchendo-se assim o volume compreendido entre estes.

Continuando o rotor a rodar os roletes são pressionados pelos excêntricos que por sua vez empurram, através dos patins, os êmbolos para o centro, sujeitando assim o gasóleo a uma determinada pressão que atinge o seu ponto máximo quando a conduta central do rotor comunica com uma das condutas transversais da cabeça hidráulica que permitem a saída para um injetor.

A regulação do débito nestas bombas é obtida por uma válvula de dosagem, que altera a pressão de transferência do gasóleo enviado para junto dos êmbolos, e portanto a quantidade de combustível que será injetado. Esta válvula é acionada num sentido pelo acelerador que, por intermédio de uma mola, tende a aumentar o débito admitido pelos êmbolos e em sentido contrário pela pressão do gasóleo proveniente da bomba de transferência e regulador centrífugo. Se a pressão de transferência e força centrífuga são elevadas, o que significa que o regime da bomba também o é, é necessário intervir para contrariar a tendência para o aumento do regime, pelo que a válvula de dosagem roda, estrangulando a passagem do combustível. Para os regimes baixos em que o motor tem tendência a parar, a válvula de dosagem, sob a ação da mola do acelerador, que neste caso é superior à força exercida pela pressão de transferência e força centrífuga, abre o orifício de entrada do gasóleo.

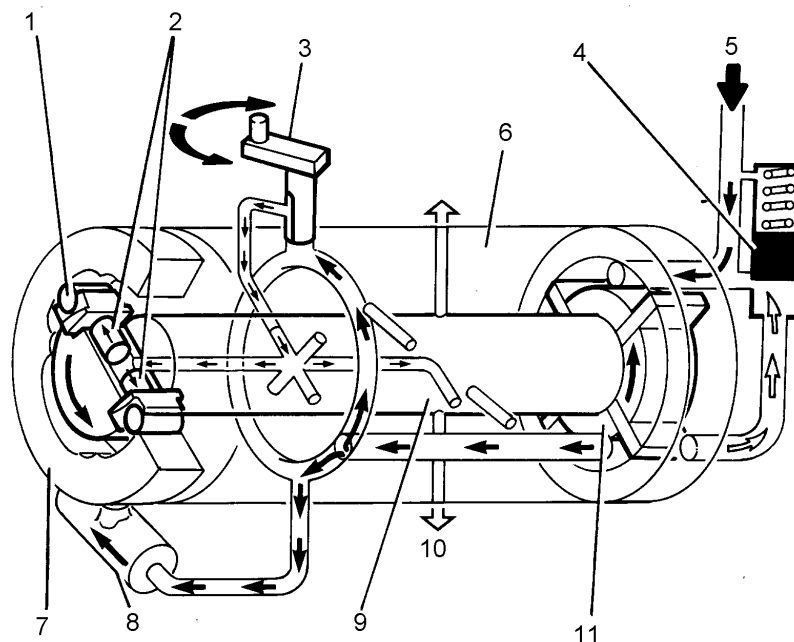


Figura 19- Princípio de funcionamento da bomba de injeção rotativa

1- Roletes 2- Êmbolos 3- Válvula de dosagem 4- Válvula reguladora 5- Chegada do combustível 6- Cabeça hidráulica 7- Anel com excêntricos 8- Corretor de avanço 9- Rotor 10- Saída para o injetor 11- Bomba de alimentação

Fonte: CEMAGREF (1991)

A pressão de transferência conferida ao gasóleo pela bomba de transferência é proporcional ao seu regime pois o êmbolo existente nesta válvula de regulação comprime a mola colocada na face superior do êmbolo o que permite uma maior abertura do orifício de passagem (by-pass) e, portanto, um maior volume para a bomba de transferência com o conseqüente aumento de pressão.

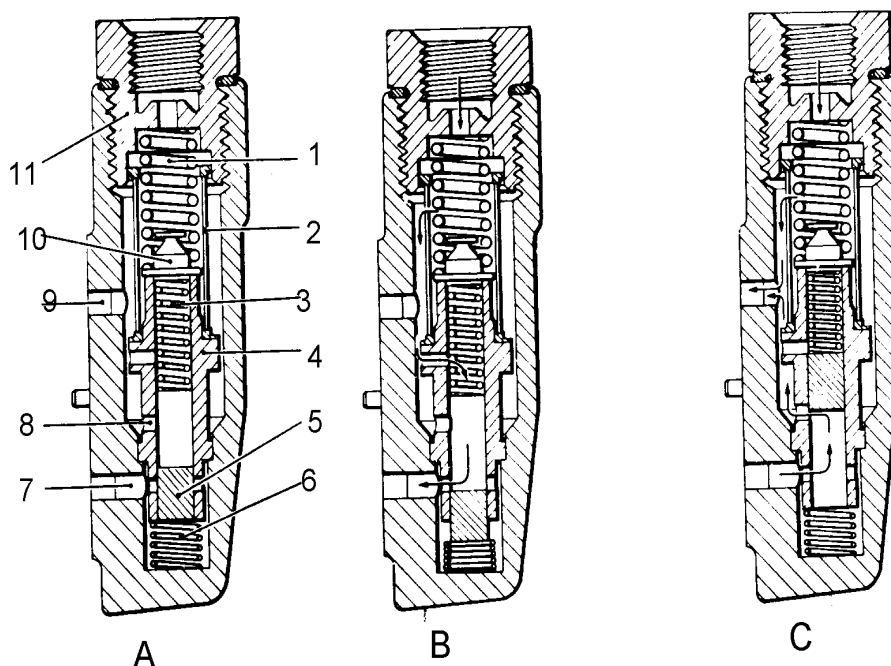


Figura 20- Válvula reguladora de pressão

1- Mola de retenção 2- Filtro 3- Mola reguladora 4- Braçadeira 5- Pistão 6- Mola de pressão
 7- Passagem de pressão de alimentação 8- Orifício de regulação 9- Passagem para aspiração
 10- Guia da mola 11- Ligação de entrada de combustível

A- Motor parado B- Motor parado durante a purga C- Motor em movimento

Fonte: Imperial (1980)

Estas bombas tem igualmente um sistema que permite a regulação do avanço à injeção, que se baseia na rotação do anel de excêntricos que aproxima estes dos roletes, fazendo com que a injeção se dê mais cedo. Esta correção é efetuada em função do regime da bomba, pois o seu aumento conduz a um acréscimo da pressão conferida ao gasóleo pela bomba de transferência. Este aumento de pressão, atuando no êmbolo do dispositivo automático de regulação, provoca a rotação do anel de excêntricos em alguns graus, no sentido inverso à rotação do veio da bomba, fazendo com que a injeção se dê mais cedo.

Relativamente ao avanço em função da carga ele é obtido pelo aumento do volume de gasóleo que penetra no rotor que faz com que os êmbolos o comprimam mais cedo; caso o volume seja reduzido a sua compressão apenas se efetuará quando os êmbolos estiverem muito próximos um do outro.

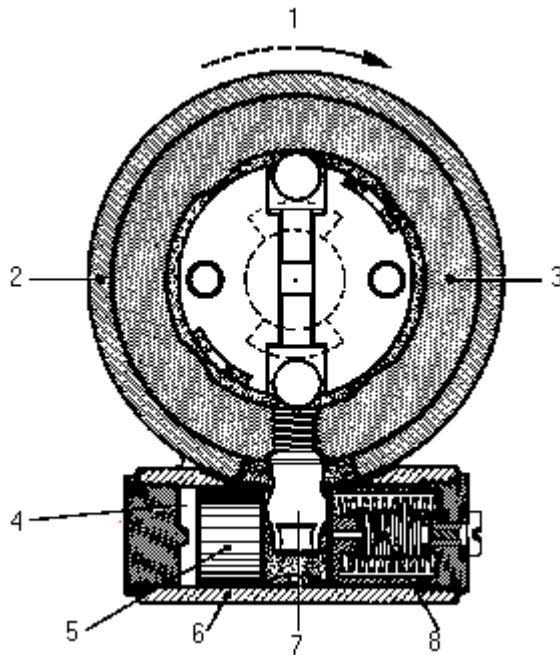


Figura 21- Representação do dispositivo automático de regulação do avanço

1- Sentido de rotação 2- Corpo de bomba 3- Anel com excêntricos 4- Orifício de entrada de combustível 5- Êmbolo 6- Cárter 7- Alavanca para rotação dos excêntricos 8- Mola de regulação do avanço de injeção.

Fonte: CNEEMA (1976)

Nas bombas de injeção com sistemas de regulação eletrônica não existe válvula de dosagem, mas um sistema de dosagem constituída por um pequeno motor elétrico que, através de uma cremalheira, provoca a rotação do anel de excêntricos fazendo variar a posição dos êmbolos, determinando assim a quantidade de combustível admitida. O avanço à injeção nestas bombas é comandada por outro motor elétrico.

Os captores existentes nos motores com injeção eletrônica indicam as condições de funcionamento, nomeadamente o regime, o ponto morto superior de um êmbolo de referência, o início da injeção (o captor está colocado no bico do injetor), a temperatura do motor, a pressão do ar de sobrealimentação, a posição do acelerador, a temperatura do ar de admissão, a abertura e fecho do comando das válvulas de reciclagem dos gases de escape.

O microprocessador existente nestes sistemas recebe as informações dos captores e transmite as informações para comando do débito, do avanço da injeção e do comando eletromagnético da válvula de reciclagem dos gases de escape.

As principais vantagens do sistema de regulação eletrónico são:

- compensar o débito, em função da altitude;
- otimizar o consumo, em função da carga;
- temporização do débito em resposta a acelerações bruscas para eliminação dos fumos, no caso dos motores sobrealimentados;
- regular a progressividade da aceleração.

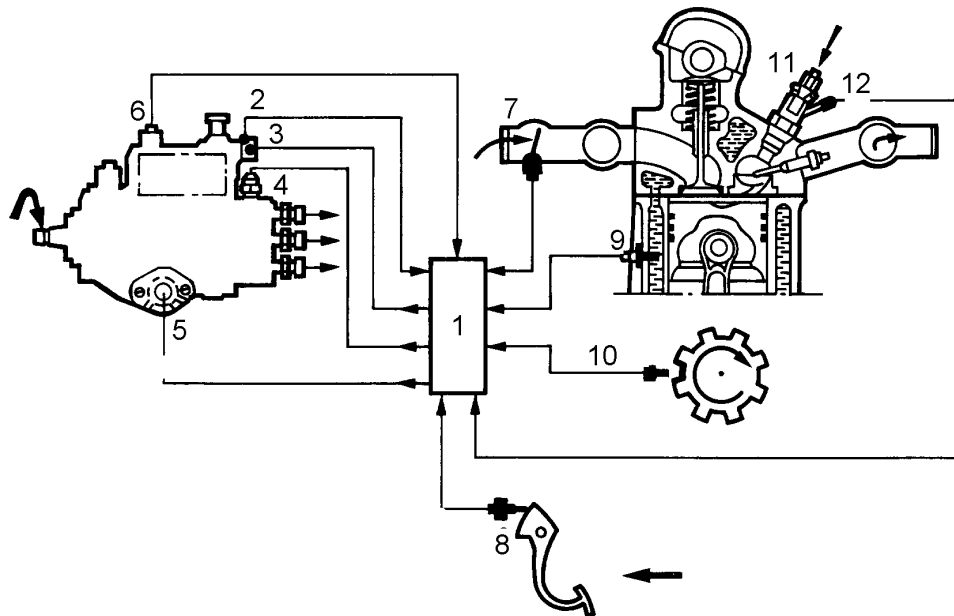


Figura 22- Princípio de funcionamento de um sistema de injeção com comando eletrônico
 1- Calculador 2- Captor de dosagem 3- Servocomando de dosagem 4- Stop eletrônico 5- Comando de avanço automático 6- Sonda de temperatura do gasóleo 7- Debímetro do ar de admissão 8- Captor de posição do acelerador 9- Sonda de temperatura da água 10- Captor de velocidade 11- Injetor 12- Captor do débito de injeção
 Fonte: CEMAGREF (1991)

3.6- Os injetores

Os injetores são basicamente válvulas de alta pressão que recebem o combustível proveniente da bomba de injeção introduzindo-o na câmara de combustão, com uma dada pressão, sob a forma de um jacto. A pressão de injeção determina a dimensão das gotículas, que ao penetrarem no ar quente se inflamam, e é função do tipo de câmara de combustão.

3.6.1- Constituição de um injetor

Os injetores, que à semelhança das bombas injetoras têm um elevado grau de acabamento, são constituídos por duas partes que são o porta - injetores e o injetor propriamente dito, que é constituído pela válvula de injeção ou agulha e o corpo ou bico.

O porta - injetores, cuja função principal é suportar o injetor, fixá-lo à cabeça do motor e ligá-lo à conduta de alta pressão é constituído pelos seguintes elementos:

- uma conduta de alta pressão, que em certos casos apresenta um filtro para retenção das partículas, que se libertam quando da montagem das condutas;
- um canal que liga a conduta de alta pressão ao injetor;
- um canal e suas ligações, para retorno do combustível que se escapa entre a agulha e o bico e que permite a sua lubrificação.

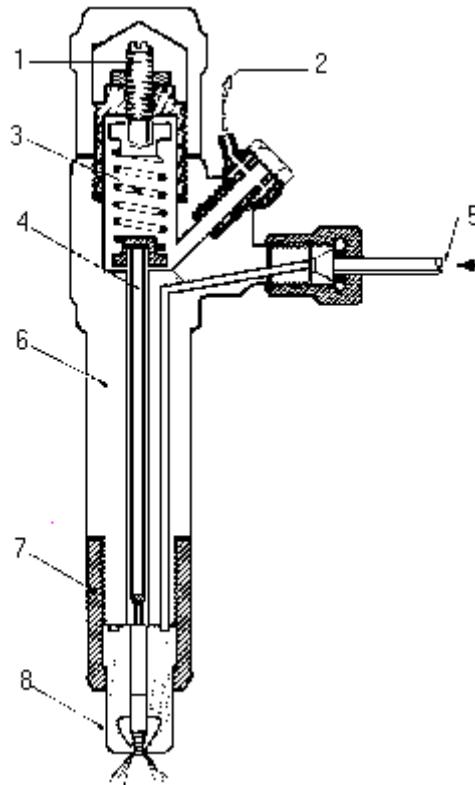


Figura 23- Representação esquemática de um injetor

1- Parafuso de regulação 2- Retorno 3- Mola 4- Haste 5- Entrada de combustível 6- Porta - injetor
7- Rosca 8- Bico injetor.

Fonte: CNEEMA (1976)

Para além destes elementos no porta - injetor encontram-se os dispositivos de regulação da pressão de injeção, um taco para transmissão da pressão da mola, através de uma haste, à agulha do bico. A regulação da pressão de injeção é obtida mediante a utilização de anilhas calibradas, colocadas no topo da mola do porta-injetor, ou com um sistema de parafuso e rosca que permite variar a tensão da mola.

Relativamente ao injetor ele é constituído basicamente por uma agulha e pelo bico do injetor no interior do qual aquela se desloca; a folga entre estes elementos é muito pequena pelo que a sua substituição é feita em conjunto.

3.6.2- Funcionamento de um injetor

O funcionamento do injetor consiste fundamentalmente na aplicação, ao nível da câmara de pressão do bico, de uma pressão suficientemente alta para vencer a resistência oposta pela mola de regulação da pressão de injeção, o que faz com que a agulha se afaste da sua sede, deixando sair o combustível; o tempo de duração da injeção, para um regime de 1800 rpm, é muito pequena, inferior a 0.02 de segundo.

A pressão de injeção, que varia de 100 a 600 bar, deve baixar rapidamente para que o combustível não seja pulverizado em gotículas demasiado grandes, pois a combustão destas seria

incompleta, o que conduz ao consumo excessivo e à formação de fumos de escape. A interrupção imediata da injeção obtém-se por uma diminuição brusca da pressão do combustível, no interior da conduta de alta pressão, devido à presença da válvula de descarga da bomba de injeção que provoca a reaspiração do combustível existente naquela conduta.

3.6.3- Principais tipos de injetores

Os injetores mais utilizados nos tratores agrícolas são do tipo fechado, ou seja, têm uma agulha que impede temporariamente a saída do combustível, sendo a sua abertura resultado da pressão de injeção que se exerce sob a parte terminal da agulha. Dentro deste tipo os mais comuns são:

- os injetores de orifícios.
- os injetores de espiga.

Os injetores de orifícios, que se utilizam para injeção direta, podem ter um ou mais orifícios (3 a 5), com um diâmetro de ± 0.2 mm, são orientados conforme a forma da câmara de combustão e a posição do injetor na cabeça do motor; a forma e a penetração do jacto dependem do diâmetro e comprimento dos orifícios, estando a pressão de abertura destes injetores compreendida entre os 150 e os 250 bar.

Relativamente aos injetores de espiga, utilizados na injeção indireta, o bico apresenta apenas um orifício central com um diâmetro de ± 1 mm, por onde penetra a extremidade da agulha; a saída do combustível dá-se pela coroa circular compreendida entre a agulha e o bico, o que faz com que o jacto tenha uma forma cônica oca e seja espalhado para a periferia do cilindro.

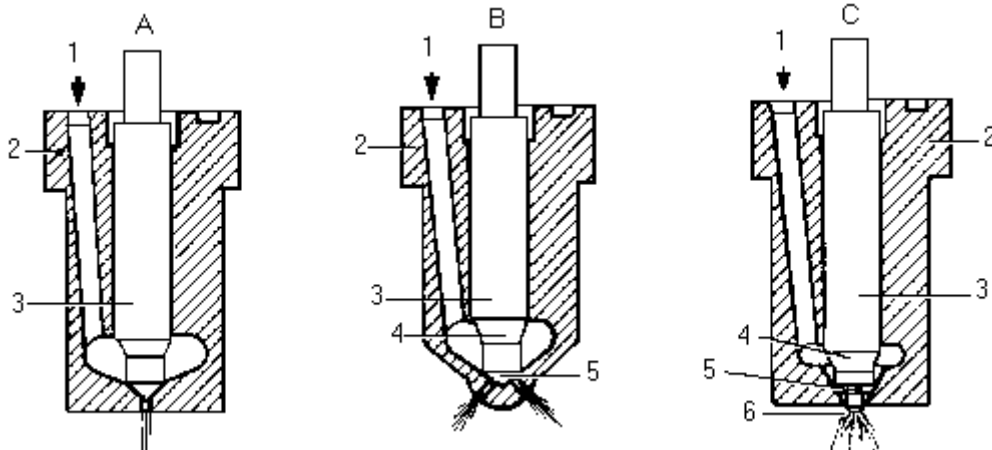


Figura 24- Diferentes tipos de injetores

1- Entrada de combustível 2- Bico 3- Agulha 4- Cone de pressão 5- Cone de estanquicidade 6- Cone de dispersão.

A- Injetor de um orifício B- Injetor de orifícios múltiplos C- Injetor de espiga

Fonte: CNEEMA (1976)

4- Os reguladores das bombas de injeção

Os reguladores são dispositivos existentes em todos os tipos de bombas injetoras e que permitem manter o regime motor, dentro de determinados limites, mais ou menos constante, ajustando assim com precisão o débito em função da posição do acelerador e do trabalho que o motor deve fornecer; os reguladores limitam também o regime máximo de rotação do motor.

A zona de atuação destes elementos varia em função do tipo de trabalho que os motores vão desenvolver, ou seja, para os veículos utilitários ou automóveis, os reguladores controlam somente o regime mínimo e máximo (reguladores de mínimo e máximo), mas, nos equipamentos agrícolas, os reguladores atuam em todos os regimes (reguladores contínuos). No primeiro caso o operador apercebe-se das variações de carga a que o motor vai ser sujeito, corrigindo assim a posição do acelerador em função daquela carga, mas, na segunda situação, o operador não se apercebe da variação de carga a que o motor irá ser sujeito, por exemplo, pela variação da dureza do solo; nesta situação o regulador deve atuar desde o regime máximo, ou seja, do regime de funcionamento sem carga, até ao regime mínimo, correspondente à situação de carga máxima.

Assim, e considerando que o regime motor resulta de um equilíbrio entre a força motriz, que é função da quantidade de combustível injetado, e uma força resistente, que varia muito em função da carga exigida ao motor, é fundamental que o débito da bomba permita manter esse equilíbrio. Se o débito injetado é pequeno e a carga solicitada ao motor grande o motor para ("vai a baixo"); se o débito da bomba é grande e a carga pequena, como nos motores Diesel há sempre um excesso de ar nos cilindros, o combustível seria integralmente queimado o que conduziria a um constante aumento do regime o que acabaria por destruir o motor.

Assim, e para contornar os inconvenientes apresentados os reguladores "medem" a carga solicitada ao motor equilibrando a força motriz e as forças resistentes.

4.1- Os reguladores das bombas de injeção em linha

Relativamente aos reguladores existentes nas bombas em linha eles são de dois tipos:

- reguladores mecânicos centrífugos;
- reguladores pneumáticos.

4.1.1- Os reguladores mecânicos centrífugos

Os reguladores mecânicos centrífugos são constituídos basicamente por duas massas, que giram com o eixo da bomba, e que, devido à força centrífuga, se afastam quando o regime aumenta e se aproximam por ação de umas molas, quando aquele diminui; o afastamento das massas é transmitido à extremidade inferior da alavanca de regulação, que rodando em torno do seu eixo, que está descentrado em relação ao centro da alavanca do acelerador, provoca o deslocamento, em sentido contrário, da cremalheira que condiciona o débito de injeção.

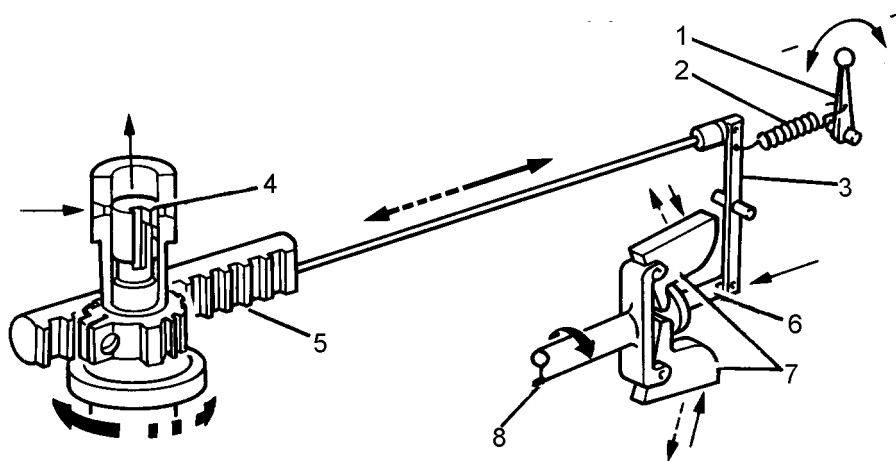


Figura 25- Princípio de funcionamento de um regulador centrífugo de uma bomba em linha
 1- Acelerador 2- Mola 3- Alavanca 4- Êmbolo 5- Cremalheira 6- Batente 7- Massas 8- Veio da bomba
 Fonte:CEMAGREF (1991)

Como se pode observar na figura 25 este regulador é constituído basicamente por massas, que são acionadas pelo veio da bomba, um sistema de batentes e alavancas ligadas à cremalheira de dosagem e uma mola cuja tensão é regulada pela posição da alavanca do acelerador. Assim, para um dado trabalho, a velocidade do motor resulta de um equilíbrio, entre, por um lado, a força motriz desenvolvida e o combustível consumido e, por outro, entre a força centrífuga das massas e a mola do acelerador.

Caso o regime motor tenha tendência a diminuir, como resultado de um aumento de carga, a força centrífuga diminui tornando-se preponderante a força da mola do acelerador, o que implica um aumento de débito. Na situação inversa, a força centrífuga torna-se dominante, diminuindo-se o débito.

4.1.2- Os reguladores pneumáticos

Os reguladores pneumáticos baseiam-se na depressão existente no coletor de admissão para corrigirem o débito da bomba injetora em função do binário resistente a que o motor está sujeito.

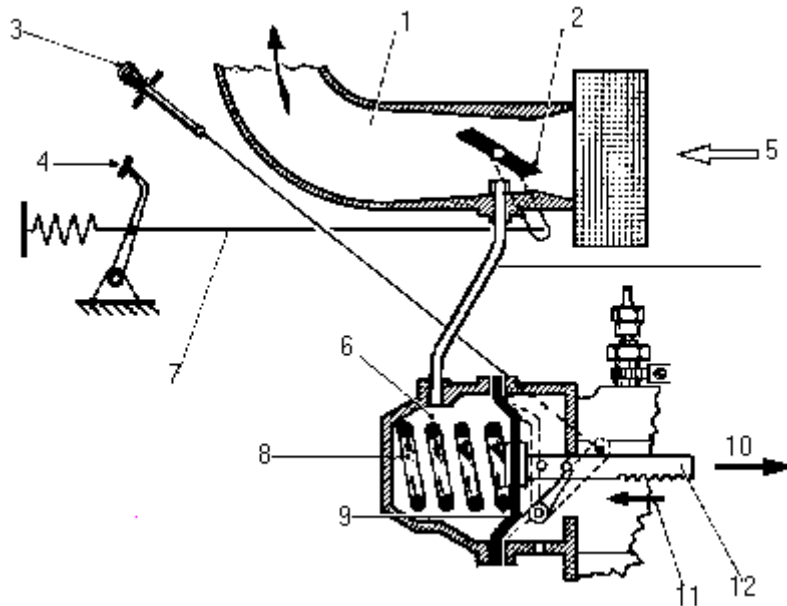


Figura 26- Representação do princípio de regulação por depressão.

1- Conduto de admissão 2- Borboleta 3- Comando de paragem 4- Acelerador 5- Entrada de ar 6- Cápsula manométrica 7- Cabo de comando 8- Mola 9- Membrana 10- Direção de aumento do débito 11- Redução do débito 12- Cremalheira.

Fonte: CNEEMA (1976)

Assim, atendendo a que a depressão no coletor de admissão varia em função da quantidade de ar admitido, que resulta por sua vez do regime do motor, se se ligar por um tubo uma das partes de uma cápsula manométrica ao coletor e a membrana desta à cremalheira que faz rodar os cilindros da bomba injetora, as variações da depressão conduzem a uma variação do débito da bomba. A parte da cápsula manométrica sujeita à depressão, apresenta uma mola para manter afastada a membrana, posição da cremalheira em pleno débito, estando a outra parte à pressão atmosférica.

Como se observa na figura 26 a depressão ao nível do coletor é determinada junto a uma borboleta cuja abertura é também regulada pelo acelerador. À medida que o regime aumenta a borboleta vai fechando a conduta de admissão, o que aumenta a depressão, comprimindo a mola da cápsula manométrica, deslocando a cremalheira no sentido da diminuição do débito da bomba, até que o regime estabilize no valor corresponde à posição do acelerador.

Quando em trabalho, e logo que a carga do motor aumente, o regime e portanto a depressão tendem a diminuir o que faz com que a mola da cápsula empurre a membrana (cremalheira) aumentando o débito da bomba.

Comparando as "performances" dos reguladores pneumáticos e mecânicos os primeiros são bastante mais simples e menos frágeis que estes últimos, mas são pouco precisos o que, especialmente em trabalhos a regimes estabilizados, pode ser um inconveniente.

Para além dos reguladores mecânicos e pneumáticos existem outros sistemas que alteram o débito da bomba para melhorar o arranque a frio, ou, nos motores sobrealimentados, para adaptar a carga do ar enviado para os cilindros pela medição da pressão de sobrealimentação, que se designam por dispositivos limitadores de riqueza ou "anti-fumos".

4.1.3- O grau de irregularidade de um regulador

O grau de irregularidade de um regulador mede a maior ou menor sensibilidade do regulador às variações de regime, ou seja, o afastamento entre a velocidade do motor sem carga e a sua velocidade desenvolvendo a potência máxima; quanto mais baixo é o seu valor maior é a sua sensibilidade.

A fórmula que permite determinar o grau de irregularidade, em termos percentuais, é a seguinte:

$$D (\%) = \frac{N_v - N_c}{N_c} * 100$$

em que:

- D é o grau de irregularidade;
- N_v é o regime do motor em vazio;
- N_c é o regime motor em carga.

Considerando que $N_v = 2600$ rpm e $N_c = 2400$ rpm o valor de $D = 8\%$

4.2- Os reguladores das bombas de injeção rotativas

Os reguladores normalmente existentes nas bombas rotativas são do tipo mecânico e são constituídos basicamente por duas massas que, devido à força centrífuga resultante do regime da bomba tendem a afastarem-se, rodando sob uma das suas extremidades e transmitindo este movimento à válvula de dosagem.

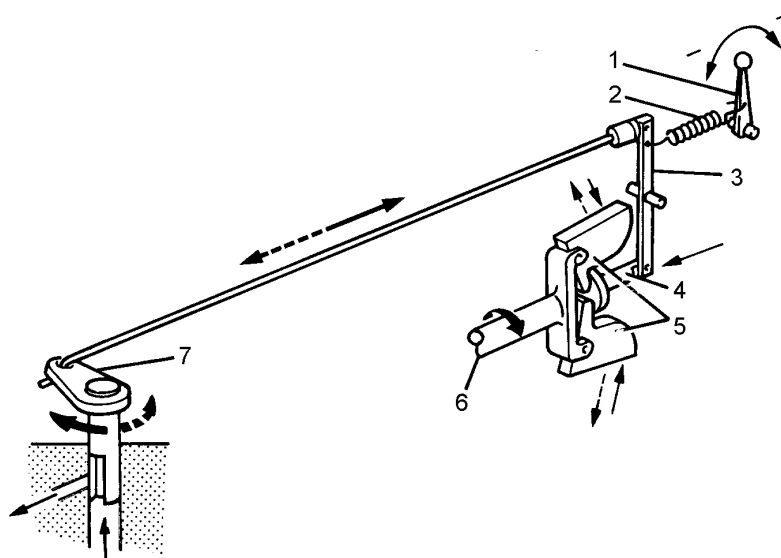


Figura 27- Princípio de funcionamento de um regulador centrífugo de uma bomba rotativa
1- Acelerador 2- Mola 3- Alavanca 4- Batente 5- Válvula de dosagem 6- Veio da bomba
Fonte: CEMAGREF (1991)

Como se pode observar na figura 27, o movimento das massas provoca o deslocamento de um batente que atuando sobre a alavanca de comando do acelerador faz rodar a válvula de dosagem diminuindo a quantidade de combustível que passa para o rotor.

5- Diferentes tipos de injeção

A injeção do combustível nos motores de ciclo Diesel pode ser efetuada de duas formas diferentes:

- injeção indireta;
- injeção direta

5.1- Injeção indireta

Nos sistemas de injeção indireta a câmara de combustão apresenta duas partes distintas, a principal no topo do êmbolo e a auxiliar na culassa; esta última câmara, também designada por câmara de pré-combustão ou turbulência, tem por objetivo otimizar a formação da mistura ar - combustível, embora a inflamação só se dê na câmara principal.

A pressão de injeção nos motores de injeção indireta está compreendida entre os 100-140 bar, não ultrapassando o regime as 4000-5000 rpm; os motores com este sistema de injeção necessitam de pré-aquecimento para o seu arranque.

Entre os principais tipos de câmaras de combustão em duas partes as mais frequentes são:

- as câmaras de combustão com câmara de turbulência;
- as câmaras de combustão com câmara de pré-combustão.

5.1.1- Motores com câmara de turbulência

Nestes motores a câmara auxiliar, que ocupa cerca de $2/3$ do volume total da câmara de combustão, está ligada à principal por um orifício de grande dimensão e com uma forma aerodinâmica. Assim, durante a compressão, o ar produz na câmara auxiliar um turbilhão que facilita a dispersão do combustível, aumentando a homogeneidade da mistura e, quando da combustão, cria-se um aumento de pressão que expulsa o fluido para a câmara principal, onde acaba de ser queimado e realiza trabalho.

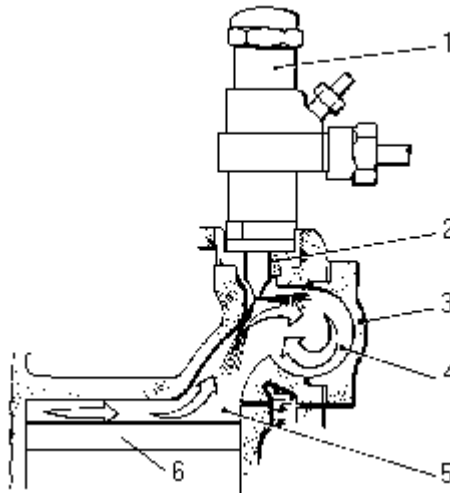


Figura 28- Representação de um esquema relativo a uma câmara de turbulência
1- Porta - injetor 2- Injetor 3- Zona refratária 4- Câmara de turbulência 5- Câmara principal
6- Êmbolo.
Fonte: CNEEMA (1976)

Relativamente às vantagens destes motores destacam-se a sua suavidade de funcionamento pois o aumento de pressão no cilindro faz-se gradualmente.

5.1.2- Motores com câmara de pré-combustão

Nestes motores a comunicação entre as câmaras faz-se por pequenos orifícios ocupando a auxiliar cerca de 1/3 do volume total; esta câmara, também designada de pré-combustão, é onde se inicia a combustão do fluído, embora, devido ao seu pequeno volume, esta seja apenas parcial; o início da combustão provoca um aumento brusco da pressão na câmara auxiliar, com a conseqüente expulsão do fluído, que, passando através dos orifícios de ligação, é injetado na câmara principal.

Os motores de injeção indireta com câmara de turbulência são mais "limpos" e económicos que os de câmara de pré-combustão.

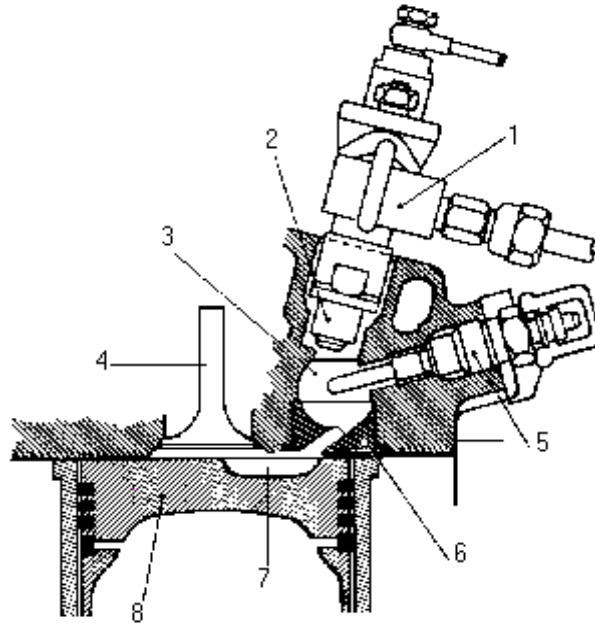


Figura 29- Representação de uma câmara de pré-combustão.

1- Porta - injetor 2- Injetor 3- Pré-câmara 4- Válvula de admissão 5- Vela de aquecimento
6- Queimador 7- Câmara principal 8- Êmbolo

Fonte: CNEEMA (1976)

As principais vantagens destes motores são a suavidade do seu funcionamento, devido à combustão se efetuar em várias fases, e os inconvenientes relacionam-se com as perdas de energia resultante da passagem através do(s) orifício(s) de comunicação entre as câmaras; estes motores têm geralmente consumos mais elevados que os anteriores.

5.2- Injeção direta

A injeção direta, que é hoje a solução mais utilizada nos tratores, tem a câmara de combustão em apenas uma parte, que é geralmente cavada no topo do êmbolo; a forma desta câmara permite uma turbulência do ar o que torna a mistura com o combustível mais homogênea.

Os motores de injeção direta têm uma taxa de compressão de 16-18, uma pressão de 170-240 bar, regime de rotação inferior a 3000 rpm e baixos consumos; os injetores são geralmente de orifícios múltiplos (3-5), sendo os jatos direcionados para os pontos quentes do êmbolo, o que permite um fácil arranque do motor.

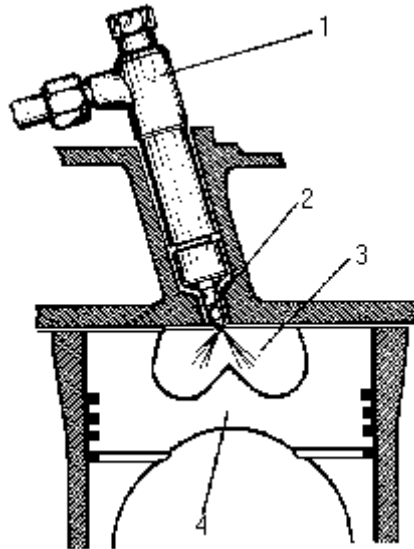


Figura 30- Representação de uma câmara de injeção direta
1- Porta - injetores 2- Injetor 3- Câmara de injeção direta 4- Êmbolo.
Fonte: CNEEMA (1976)

As vantagens deste tipo de injeção é permitir um melhor rendimento do motor, menores perdas de energia, a pressão ser aplicada diretamente no êmbolo, conduzindo estes fatores a consumos mais baixos. As principais desvantagens relacionam com o elevado valor da relação peso / potência e com o ruído que produzem.

Bibliografia

CEMAGREF (1991). Les tracteurs agricoles. Technologies de l' agriculture.CEMAGREF

CNEEMA- Livre du Maitre. (1976). Tracteurs et machines agricoles. Tome 1. CNEEMA

Deterre, D. (1983). Circuit d' alimentation du moteur diesel. TMA **802**: 51-56. Paris.

Deterre, D. (1983). Les organes d' injection des moteurs Diesel. TMA **806**:25-29. Paris

Deterre, D. (1983). Le regulateur et le injecteur. TMA **807**:31-34. Paris.

Imperial, J. (1980). Bombas de injeção Diesel. Lisboa. Edições CETOP.

Seale, J. (1979). Motores diesel. Lisboa. Editorial Presença.