

**OS SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DE AR DOS MOTORES A QUATRO TEMPOS**

**1993**

**ÍNDICE**

1- Introdução .....	3
2- Constituição do sistema de alimentação de ar dos motores atmosféricos .....	3
2.1- Os filtros de ar .....	3
2.1.1- Pré-filtro .....	4
2.1.2- Filtros de ar em banho de óleo .....	4
2.1.3- Filtros de cartucho .....	6
2.2- O colector de admissão .....	7
3- A sobrealimentação dos motores de ciclo Diesel .....	8
3.1- Compressor volumétrico .....	8
3.2- Os turbocompressores .....	9
3.2.1- A regulação do débito de ar nos turbocompressores .....	9
3.2.2- A regulação do débito de combustível nos motores sobrealimentados .....	12
Bibliografia .....	14

## **1- Introdução**

A quantidade de ar utilizada por um motor de combustão interna depende fundamentalmente do regime, cilindrada e tipo de motor (atmosférico ou sobrealimentado), mas representa sempre um volume bastante grande pelo que é fundamental que se encontre livre de poeiras. Estas provocam um desgaste acentuado dos motores, especialmente ao nível dos cilindros, chumaceiras, válvulas e suas guias e, nos motores sobrealimentados, nas chumaceiras do veio das turbinas.

A utilização dos equipamentos agrícolas em determinadas situações, nomeadamente nas lavouras e colheita de cereais, aumenta significativamente a concentração de poeira no ar e conseqüentemente os riscos de deterioração do motor, pelo que é necessário redobrar os cuidados a ter com os sistemas de limpeza do ar; para além dos aspectos relacionados com os trabalhos agrícolas o tempo seco aumenta também a concentração de poeiras na atmosfera.

## **2- Constituição do sistema de alimentação de ar dos motores atmosféricos**

O sistema de alimentação de ar dos motores atmosféricos (aspiração natural) é constituído por:

- filtros de ar;
- colector de admissão

### **2.1- Os filtros de ar**

Os filtros de ar devem:

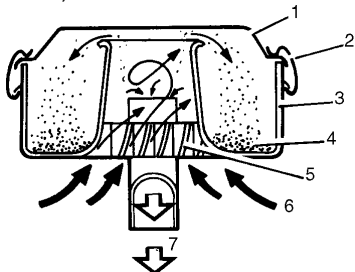
- ter um nível de filtração de 2 - 5  $\mu\text{m}$ , conforme a aplicação;
- ter uma duração e periodicidade de manutenção o mais elevada possível;
- apresentarem perdas de carga o mais baixas possível.

Assim, para assegurarem os objetivos mencionados os filtros devem estar sujeitos a cuidados de manutenção periódicos, definidos pelos construtores, procedendo-se, sempre que necessário, à substituição do elemento filtrante; a obstrução do filtro diminui as prestações do motor, aumentando o consumo de combustível e emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Nos motores de ciclo Diesel os filtros de ar podem ser de cartucho (secos) ou em banho de óleo, sendo estes normalmente precedidos de um pré-filtro centrífugo.

### 2.1.1- Pré-filtro

Os pré-filtros permitem, por centrifugação, reter as poeiras de maior dimensão, que obstruiriam rapidamente os filtros principais; as poeiras depositam-se numa cuba, geralmente em vidro, donde são facilmente retiradas.



**Figura 1-** Representação de um pré-filtro centrifugo.

1- Tampa 2- Grampos 3- Taça 4- Poeiras 5- Palhetas 6- Entrada de ar 7- Saída do ar

Fonte: CEMAGREF (1991)

Como se pode observar na figura os pré-filtros têm palhetas em torno do tubo de aspiração, que conferem ao ar uma trajetória circular, que faz com que seja centrifugado, o que permite a deposição das partículas de maior dimensão; a eficácia do pré-filtro depende da velocidade do ar, ou seja, do débito aspirado.

Relativamente aos cuidados com os pré-filtros estes relacionam-se com a limpeza frequente do "copo" do pré-filtro (se existente) ou do "chapéu" exterior de entrada; os pré-filtros mais recentes encontram-se ligados por uma conduta ao colector de escape o que faz com que as poeiras sejam aspiradas e expulsas com os gases de escape. Não se deve igualmente soprar nos tubos do pré-filtro, sem os filtros principais estarem montados, pois as poeiras podem ir directamente para os cilindros.

### 2.1.2- Filtros de ar em banho de óleo

Os filtros de ar em banho de óleo, que são mais antigos que os de cartucho, utilizam-se principalmente nos tratores de média potência. Este tipo de filtros são tanto mais eficazes quanto maior for a velocidade do ar na conduta de aspiração, pelo que são mais utilizados em motores que funcionam a regimes  $\pm$  constantes; nos baixos regimes o rendimento é baixo podendo descer até aos 97% ao "ralenti", sendo o rendimento de  $\pm$  99% ao regime nominal (Deterre, 1984)

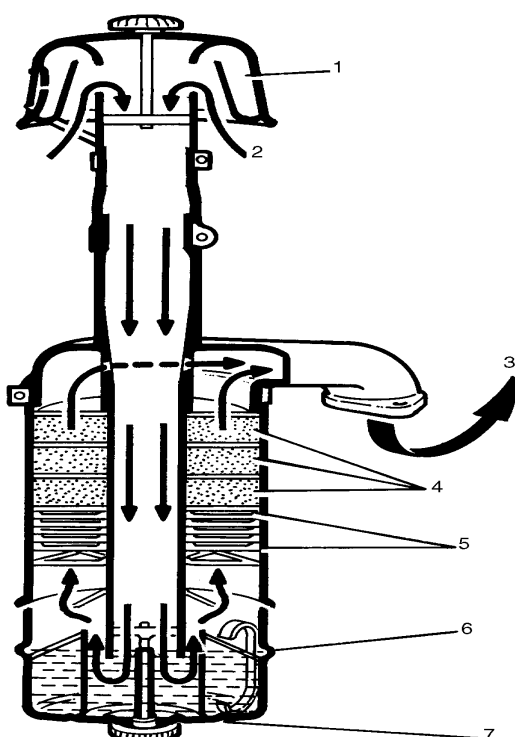
Os filtros de ar em banho de óleo apresentam um tubo de aspiração, precedido por um pré-filtro, que conduz o ar para uma taça com óleo onde as impurezas se precipitam. Depois de liberto das poeiras de maior dimensão no pré-filtro e na taça de óleo o ar é conduzido através de uma rede de filtração, colocada em torno do tubo de aspiração, que retém as partículas ainda existentes, e só depois chega ao colector de admissão.

Considerando as principais vantagens destes filtros tem-se:

- fácil manutenção;
- duração praticamente ilimitada (baixo custo);
- provocarem baixas perdas de carga ( $\pm$  15 g/cm<sup>2</sup>).

Como inconvenientes tem-se:

- baixo nível de filtração;
- impossibilidade de serem utilizados em motores sobrealimentados, pois o óleo pode ser aspirado;
- ter que ser montado na vertical;
- o trator não poder trabalhar em zonas inclinadas, pois o óleo pode ser aspirado e queimado sem controlo (nos motores de ciclo Diesel a regulação do regime não é feita ao nível da admissão do ar).



**Figura 2-** Corte esquemático de um filtro de ar em banho de óleo de um trator.

1- Pré-filtro 2- Entrada de ar 3- Saída do ar filtrado  
4- Elementos filtrantes 5- Membranas filtrantes  
6- Marca do nível de óleo 7- Tina de óleo  
Fonte: CEMAGREF (1991)

Relativamente aos cuidados de manutenção deve-se proceder à limpeza da tina de óleo situada na base do filtro, colocando-se óleo novo até ao nível aí indicado, e à limpeza da rede metálica filtrante; estas operações não devem ser efectuadas imediatamente a seguir à utilização do trator pois a rede metálica encontra-se impregnada com óleo.

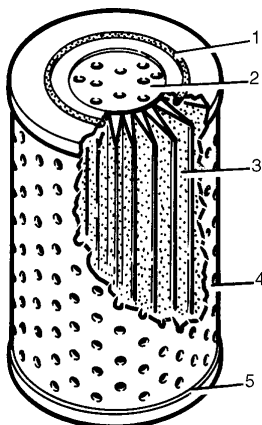
A periodicidade destas operações é indicada pelo construtor dependendo, no entanto, das condições de trabalho; numa atmosfera seca e

poeirenta, não é demais limpar o filtro 2 a 3 vezes por dia; os intervalos entre as manutenções dependem, para além dos aspectos exteriores ao filtro, da quantidade de óleo da sua tina. A substituição destes tipos filtros por outros de características dimensionais diferentes é perigosa pois um filtro maior faz com que a velocidade do ar seja mais baixa, diminuindo-se assim o nível de filtração e, um filtro mais pequeno, faz com que o ar tenha uma velocidade mais alta o que poderá fazer com que o óleo seja admitido no motor.

Sendo a manutenção do estado de limpeza dos filtros fundamental para o bom funcionamento dos motores, tem-se vindo a generalizar a utilização de dispositivos indicadores de obstrução dos filtros que, em caso de aumento da depressão resultante do entupimento do filtro, estabelecem um contacto eléctrico que acciona um indicador luminoso ou sonoro.

### 2.1.3- Filtros de cartucho

Os filtros de cartucho são o tipo de filtros mais utilizados nos motores de ciclo Diesel, pois são eficazes mesmo em atmosferas carregadas de poeiras e para qualquer regime do motor.



**Figura 3-** Esquema de um elemento de filtro de papel.

1- Junta 2- Armadura interior 3- Elemento de filtro de papel 4- Armadura exterior 5- Tampa

Fonte: CEMAGREF (1991)

Estes filtros são constituídos por uma caixa cilíndrica fabricada em chapa de aço e um elemento de filtro de papel constituído por duas armaduras metálicas perfuradas, no meio das quais se encontra o elemento filtrante propriamente dito e, nos topos, por duas chapas circulares, tendo uma delas um orifício para deixar passar o ar.

O papel filtrante, que é constituído por um conjunto de fibras de celulose com 4 - 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro, é disposto em harmónio por forma a aumentar a área de contacto com o ar; a espessura do papel varia entre os 200  $\mu\text{m}$  e 1 mm, conforme se pretenda uma menor perda de carga ou maior resistência, sendo reforçado por impregnação em resina.

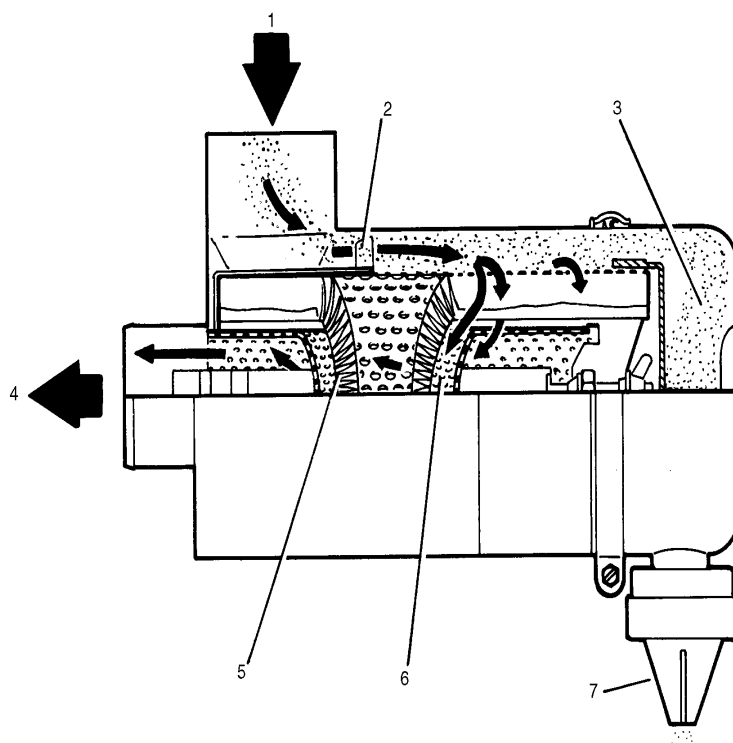
A filtração é assegurada pela densa malha formada pelas fibras do papel e pela electrificação deste, resultante do atrito das poeiras. Para um motor de 100 cv a área de papel filtrante é de  $\pm 3.5 \text{ m}^2$  (Deterre, 1984).

Quanto ao trajeto do ar no interior dos filtros a entrada faz-se pela periferia do elemento filtrante, saindo por um tubo central; este circuito é inverso aos dos filtros anteriores.

A principal vantagem deste tipo de filtros relativamente aos em banho de óleo é a sua eficácia que é superior a 99.5%, sendo de 99% para as partículas inferiores a 2  $\mu\text{m}$ ; a eficácia dos filtros de cartucho não depende do regime motor.

Relativamente aos cuidados de manutenção estes elementos devem ser limpos utilizando uma corrente de ar, de intensidade moderada e no sentido de dentro para fora, contrário ao sentido do deslocamento do ar aspirado, devendo-se proceder à sua substituição quando já não for possível limpá-lo convenientemente da forma descrita. A utilização de cartuchos não indicados pelo construtor pode conduzir a graves problemas pois podem apresentar um nível de filtração inferior ao necessário, ou então provocar perdas importantes de carga, o que origina uma má combustão, sobre consumo e lavagem dos cilindros.

Os filtros de ar do tipo seco podem estar equipados com um pré-filtro, que tem o mesmo objetivo dos anteriormente apresentados.



**Figura 4-** Esquema de um filtro de ar do tipo seco com um pré-filtro

1- Entrada de ar 2- Palhetas periféricas 3- Cuba para retenção das poeiras maiores 4- Saída de ar  
5- Elemento filtrante primário 6- Elemento filtrante secundário 7- Válvula para saída das poeiras  
Fonte: CEMAGREF (1991)

Como se pode observar na figura 4 este filtro apresenta uma entrada de ar radial e uma saída axial, e dois elementos de filtro de papel coaxiais. O elemento exterior, que se designa por elemento primário, retém as partículas de maior dimensão que não ficaram no pré-filtro, funcionando o elemento interior (secundário), como segurança em caso de perfuração do anterior; este retém as partículas ainda existentes no ar e não deve ser limpo mas substituído.

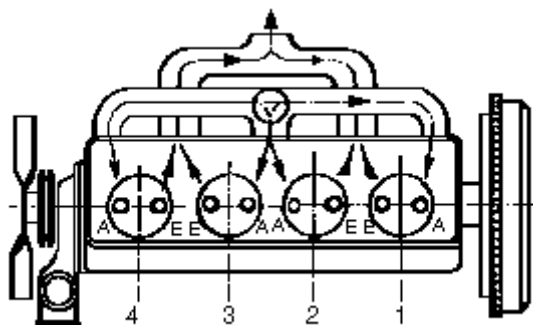
A pré-filtração nestes filtros obtém-se devido à presença de palhetas periféricas, colocadas à entrada do ar, em volta do cartucho primário, que fazem com que o ar siga uma trajetória turbilhonar, depositando-se as partículas de maior dimensão numa taça de retenção, colocada na extremidade oposta do filtro; a quantidade de poeira retida desta forma representa cerca de 90% da poeira total (Deterre, 1984). Para demonstrar a eficácia das palhetas um fabricante comparou dois filtros semelhantes um com palhetas e outro sem, tendo o primeiro ficado obstruído com 5.42 kg de poeira e o outro com apenas 1.42 kg.

As impurezas depositadas na taça podem ser removidas manualmente ou automaticamente graças a uma válvula em borracha que, devido às pulsações resultantes da aspiração do motor, abre e fecha.

## 2.2- O colector de admissão

As entrada de ar para o interior dos motores com vários cilindros agrupam-se numa única conduta, que se designa por colector de admissão, na extremidade do qual se encontra o filtro de ar; esta disposição permite que apenas um filtro seja suficiente para alimentação de todos os

cilindros; o desenho do colector de admissão deve conferir ao ar, à entrada dos cilindros, um movimento turbilhonar.



**Figura 5-** Esquema dos colectores de admissão e escape de um motor de quatro cilindros  
 A- Válvulas de admissão E- Válvulas de escape 1,2,3,4- Número dos cilindros  
 Fonte: CNEEMA (1976).

Como se pode observar na figura 5 a distribuição das válvulas de admissão (A) e as de escape (E) é feita por forma a alternar as condutas de admissão com as de escape, obtendo-se assim o aquecimento do ar de admissão, antes da sua introdução no cilindro, o que facilita a combustão do gasóleo, pois aquele atinge uma temperatura mais alta no fim da compressão.

Relativamente aos sistemas multiválvulas são utilizados especialmente nos motores de ciclo Otto para se aumentar o regime, melhorando-se a "respiração" do motor, aumentando-se, assim, a potência. Nos motores diesel não há interesse em melhorar o sistema de admissão e escape pois os regimes são mais baixos; nestes casos a utilização dos sistemas multiválvulas tem como objetivo a melhoria da queima do combustível o que torna os motores mais limpos.

### 3- A sobrealimentação dos motores de ciclo Diesel

A utilização de sistemas de sobrealimentação nos motores de combustão interna deve-se ao facto da taxa de enchimento dos cilindros, provocada pela depressão criada pelo movimento do êmbolo para o seu ponto morto inferior, não representar mais que 80-90% da cilindrada unitária. Nos motores atmosféricos a abertura e fecho das válvulas de admissão conduzem à formação de ondas de pressão, que provocam um ligeiro acréscimo desta no colector de admissão o que dificulta a entrada de ar para os cilindros.

Assim, e considerando que a relação ar - combustível é fixa, o aumento do volume injetado em cada ciclo operativo, necessário ao aumento da potência, implica um acréscimo proporcional da quantidade de ar admitido (sobrealimentação), o que significa que a taxa de enchimento terá de ser próxima, ou mesmo superior, à unidade; a sobrealimentação consiste em comprimir o ar nos cilindros com a ajuda de um compressor volumétrico ou de um turbocompressor accionado pelos gases de escape.

A sobrealimentação é especialmente importante nos motores Diesel pois, aumentando a pressão e temperatura no interior dos cilindros, diminui-se o risco da detonação; a aplicação nos motores a gasolina aumenta este risco.

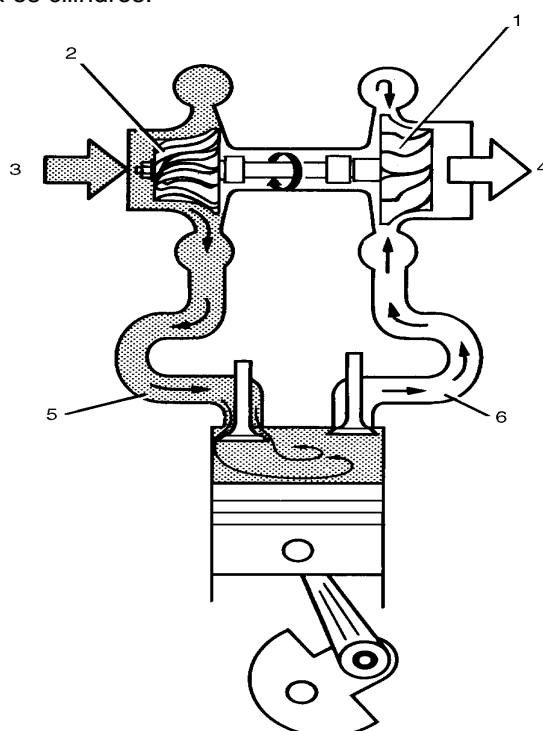


### 3.1- Compressor volumétrico

Os compressores volumétricos, accionados mecanicamente pelos motores, são cada vez menos utilizados nos motores pois o seu rendimento é bastante baixo.

### 3.2- Os turbocompressores

O turbocompressor é, como o nome indica, um compressor de turbinas (duas turbinas), em que uma, designada por turbina de escape, é accionada pelos gases de escape, funcionando assim como elemento motor, e a outra, designada por turbina de admissão, funciona como uma bomba, ou seja, provoca a aspiração do ar que é depois conduzindo, sob pressão, através do colector de admissão para os cilindros.



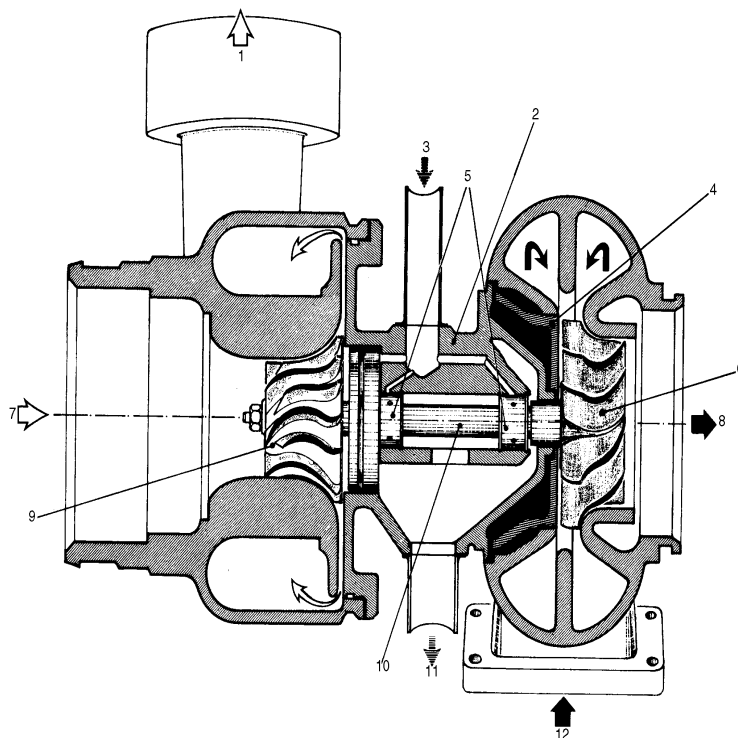
**Figura 6-** Princípio de funcionamento de um turbocompressor

1- Turbina de escape 2- Turbina de admissão 3- Entrada de ar 4- Gases de escape 5- Conduta de admissão 6- Conduta de escape

Fonte: CEMAGREF (1991)

Como se pode observar na figura 7 o turbocompressor é constituído por:

- conduta de escape;
- turbina de escape;
- conduta de admissão;
- turbina de admissão;
- corpo do compressor.



**Figura 7-** Constituição de um turbocompressor

1- Saída do ar sob pressão para os cilindros 2- Cárter 3- Óleo sob pressão 4- Deflector térmico 5- Chumaceiras 6- Turbina principal 7- Entrada de ar 8- Saída dos gases de escape 9- Turbina secundária 10- Veio de ligação das duas turbinas 11- Retorno de óleo para o Cárter motor 12- Entrada dos gases de escape.

Fonte: CNEEMA (1976)

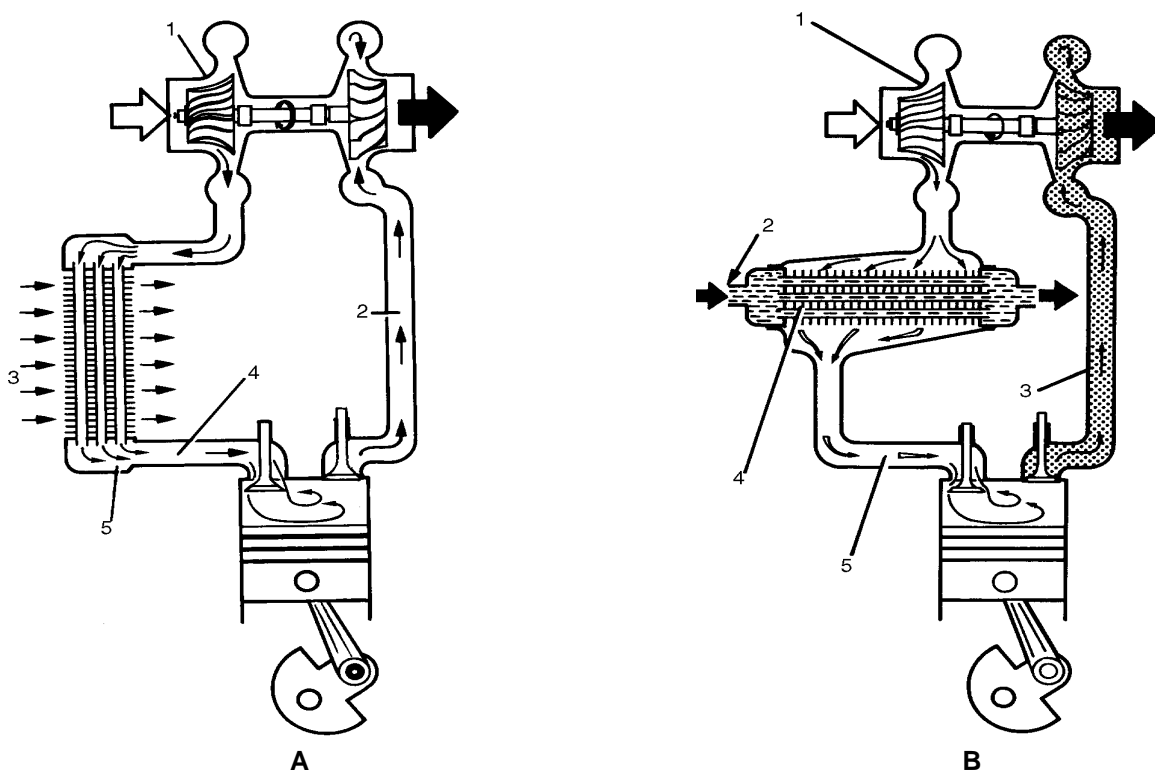
Relativamente à conduta de escape, esta encontra-se ligada por um lado ao colector de escape e pelo outro ao corpo do compressor; a entrada dos gases de escape faz-se tangencialmente à turbina tendo a saída daqueles uma direcção axial relativamente a esta (movimento centrípeto). Em alguns motores o colector de escape encontra-se dividido em duas partes o que permite que os gases dos cilindros anteriores e posteriores se faça por condutas separadas, evitando-se assim o choque de correntes de ar, o que permite uma alimentação mais regular da turbina.

As turbinas de escape, constituídas por várias palhetas, cujo perfil permite otimizar o rendimento daquelas, estão sujeitas a temperaturas muito elevadas (700-900 °C), pelo que são fabricadas em aço especial refratário ou em cerâmica, e separadas do corpo central por um ecrã térmico, fabricado em aço inoxidável.

A turbina de admissão, que se encontra solidária com a de escape, apresenta também palhetas, mas é fabricada em material leve; o movimento do ar é contrário ao apresentado para a turbina de escape, pois a entrada faz-se axialmente e a saída tangencialmente (movimento centrífugo). Estando as duas turbinas ligadas por um veio a quantidade de ar aspirada depende do regime da turbina de escape, que é muito elevado, podendo mesmo ultrapassar as 100.000 rpm, o que poderá aumentar a potência do motor para o dobro.

O corpo do compressor, para além de servir de suporte às condutas, apresenta chumaceiras para suporte do veio que liga as duas turbinas e um circuito de óleo para lubrificação e refrigeração do turbocompressor. As chumaceiras têm casquilhos em bronze ou em ligas ligeiras, que, juntamente com o eixos das turbinas, tem movimento de rotação, por forma a obterem-se regimes muito elevados. Devido a estes regimes de funcionamento a lubrificação entre as chumaceiras e casquilhos e entre estes e o veio das turbinas, faz-se em condições muito difíceis, pelo que a pressão de óleo deve ser suficiente para manter em permanência uma camada líquida entre as peças; nunca se deve baixar bruscamente o regime motor nos tratores sobrealimentados pois o turbocompressor devido à sua elevada velocidade ainda se mantém em rotação durante um determinado período, em que a diminuição da pressão resultante do abaixamento do regime pode não ser suficiente para assegurar uma lubrificação eficaz.

Considerando o aumento de temperatura resultante do funcionamento dos turbocompressores, o ar aspirado pode atingir valores de 100-150 °C, o que faz com que a sua densidade (massa) diminua, diminuindo também o seu rendimento. Assim, e como forma de minimizar os efeitos resultantes do aumento de temperatura a sobrealimentação de ar pode ser efectuada utilizando um turbocompressor associado a um permutador de ar - ar ou ar - água; esta associação, que permite baixar a temperatura de 150 para 70 °C, é designada por "intercooler".



**Figura 8-** Representação de um permutador ar-ar (A) e ar-água (B)

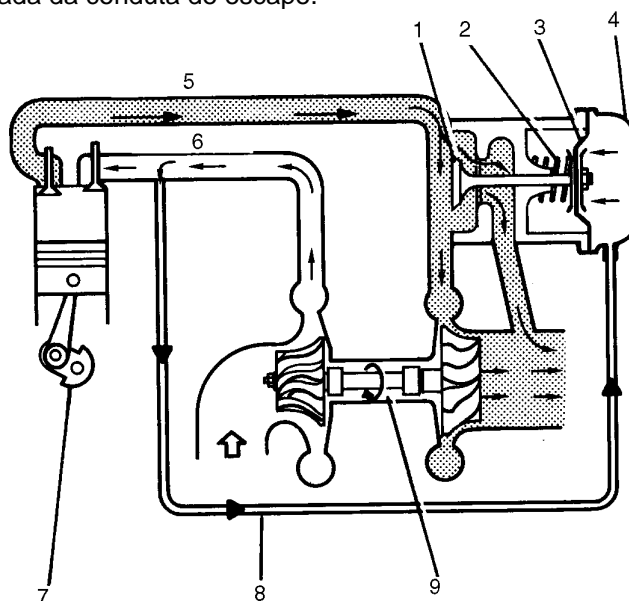
A: 1- Turbocompressor 2- Gases de escape 3- Passagem de ar 4- Admissão de ar 5- Radiador

B: 1- Turbocompressor 2- Entrada de água do circuito de refrigeração 3- Gases de escape 4- Permutador ar-água 5- Admissão

Fonte: CEMAGREF (1991)

### 3.2.1- A regulação do débito de ar nos turbocompressores

A regulação dos turbocompressores é feita por uma válvula comandada por um diafragma que se encontra à entrada da conduta de escape.



**Figura 9-** Sistema representando a regulação da pressão de sobrealimentação

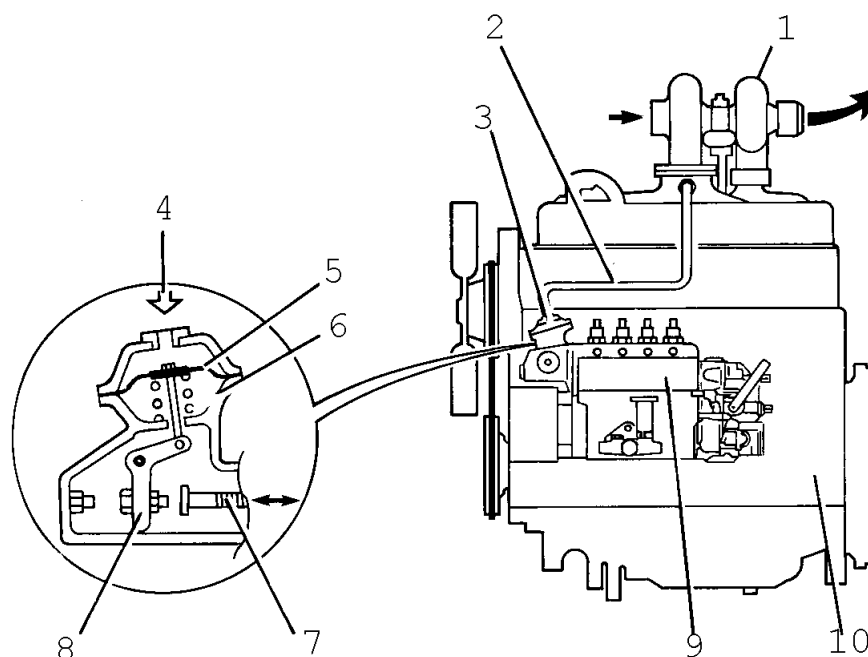
1- Válvula 2- Mola 3- Diafragma 4- Regulador 5- Gases de escape 6- Admissão 7- Motor 8- Conduta de comando 9- Turbocompressor

Fonte: CEMAGREF (1991)

Nestes sistemas, quando o motor está parado, a válvula encontra-se fechada por uma mola, sendo a sua abertura regulada em função da pressão de admissão do motor que, actuando num diafragma, provoca a abertura daquela; quando a válvula se abre parte dos gases de escape não passam pela turbina pelo que o seu regime diminui.

### 3.2.2- A regulação do débito de combustível nos motores sobrealimentados

O aumento do volume de ar introduzido nos cilindros implica uma adaptação, por parte da bomba injetora, da quantidade de combustível injetado, pelo que estas devem estar equipadas com um regulador de débito. Este regulador, designado por LDA, é um dispositivo accionado pela pressão de sobrealimentação do turbo, que regula constantemente a posição da haste da cremalheira da bomba de injeção por forma a ter-se um volume de combustível adequado; esta regulação é especialmente importante nos baixos regimes onde se obtém uma redução importante dos fumos de escape.



**Figura 10-** Representação de um sistema de correção de débito de combustível num motor sobrealimentado.

1- Turbocompressor 2- Conduta de comando 3- Regulador de débito 4- Pressão de sobrealimentação 5- Membrana 6- Mola 7- Cremalheira de dosagem 8- Batente móvel 9- Bomba de injeção em linha 10- Motor

Fonte: CEMAGREF (1991)

O regulador apresentado na figura 10 é constituído basicamente por uma mola e uma membrana deformável ligada a um batente; a membrana, na sua parte inferior, é sujeita à tensão da mola e, na face superior, à pressão de sobrealimentação, resultante da ligação do regulador ao colectador de admissão do motor. Quando a pressão de sobrealimentação é pequena a mola encontra-se distendida e o batente afastado da cremalheira de dosagem, pelo que o débito máximo corresponde à de um motor atmosférico; à medida que a pressão de sobrealimentação, resultante da variação do regime e carga do motor, aumenta, a membrana faz rodar o batente que desloca a cremalheira, ajustando assim o débito de combustível à quantidade de ar admitida.

**Bibliografia**

Atares, A.; Blanca,A. (1989). Tratores ey motores agricolas.Bilbao. Grafo. S.A.

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

CNEEMA- Livre du maitre. (1976). Tracteurs et machines agricoles. Tome I. Antony. CNEEMA.

Deterre, D. (1984). De l'air pour les moteurs Diesel. Ne pas confondre passoire et filtre à air. TMA  
**818:** 41-47

Estevez, S. (1976). Tecnologia do automóvel. Lisboa. Plátano Editora.

Imperial, J. (1980). Sobrealimentação de motores. Sintra. Tito Lyon de Castro.