**8:- INJEÇÃO**

(pág. 138–161 apostila)

**8.1 - Generalidades:**

O primeiro motor de combustão por compressão, idealizado por Rudolph Diesel, utilizava carvão pulverizado e era injetado na câmara de combustão por meio de um jato de ar comprimido. Este sistema recebeu o nome de “**Injeção a ar**” e atualmente só é usado para combustíveis de grande viscosidade e relativamente sujos, como o “fuel oil” ou “mazout” ou óleo combustível residual de uso normal em caldeiras.

Os motores Diesel atuais normalmente usam a injeção mecânica do combustível, sem usar ar comprimido, por este motivo esta é chamada, por alguns, de **“Injeção Mecânica”** ou “I**njeção Sólida”**.

**8.2 – Objetivos:**

O dispositivo de injeção de um motor diesel deve preencher os seguintes requisitos:

1. Injetar a quantidade de combustível exigida pela carga do motor, mantendo-a constante:
2. de ciclo a ciclo.
3. de cilindro para cilindro.
4. Injetar o combustível no instante exato independente da rotação do motor.
5. Injetar o combustível na quantidade necessária para controlar a pressão da combustão, conforme havia sido projetado.
6. Pulverizar o combustível no grau desejado.
7. Distribuir o combustível na câmara de combustão.
8. Iniciar e terminar a injeção bruscamente e com precisão.

**8.3 – Vantagens da Injeção sobre a Carburação:**

1. Maior rendimento volumétrico, pois a perda de carga na tubulação de admissão é menor.
2. Melhor aceleração, pois não há filme nem gotículas de óleo que se atrasem em relação à demanda de ar.
3. Eliminação do gelo na tubulação de admissão (foram utilizados motores Diesel na aviação alemã – Junkers)
4. Partida fácil, porque o combustível é pulverizado dentro do cilindro, mesmo nas baixas rotações.
5. Menor tendência a detonação uma vez que a injeção de combustível é controlada
6. Não há retorno de chama.
7. Projeto mais compacto, porque o sistema de injeção, não exige localização especial.
8. Possibilidade de se usar combustível menos volátil.
9. Maior rendimento do ciclo.

**8.4 – Desvantagens da Injeção sobre a Carburação:**

1. Construção mais cara.
2. Maior peso por unidade de potência.
3. Não é tão simples quanto a ajustagem e manutenção.
4. Menor vida (água, enxofre e areia).
5. Pouco tempo para o combustível se misturar com o ar o que dificulta a combustão completa em altas velocidades.

**8.5 – Tipos de Sistemas de Injeção Mecânica:**

Existem basicamente três tipos de sistemas:

Pulverização

AP

Dosador

BP

Tanque

**I -** (**BOSCH**)

Dosagem

AP + Pulverização

BP

Controle de

pressão

**II -** (**Cummins**)

Tanque

**III -** (**General Motors**)

AP + Pulverização

Dosador

BP

Tanque

BP – Circuito de Baixa Pressão Ap – Circuito de Alta Pressão

Os três tipos básicos são construídos com:

1. **Bomba individual** – a cada cilindro corresponde um dosador e uma bomba de alta pressão. (tipo Bosch)
2. **Distribuidor** – existe apenas uma bomba para todos os cilindros, que também dosa a quantidade de combustível e existe ainda um distribuidor, para levar o combustível a cada cilindro. (tipo Cummins antigo)
3. **Acumulador** – o sistema tem bomba única, para comprimir o combustível e levá-lo aos injetores, que dosam as quantidades e os tempos e injetam nos cilindros. (tipo Cummins moderno, Cooper Bessmer etc.)

Os tipos de sistemas de injeção são os mais variados possíveis e os fabricantes estão continuamente pesquisando no sentido de melhorar as suas características de desempenho.

Atualmente os sistemas de injeção, tanto os mecânicos como os comandados eletronicamente, permitem adiantar a injeção com o aumento da rotação, com isto consegue-se rotações elevadas para os motores diesel, principalmente nos de uso automotivo.

**8.6 – Sistema Bosch:**

Existe uma bomba de êmbolos (ou de engrenagens) que traz o combustível do tanque e leva-os até as bombas de alta pressão, as quais são individuais, isto é uma bomba para cada cilindro. A dosagem também é feita nestas bombas.

Detalhes de funcionamento podem ser vistos na fig. 10.4 e 10.5 pg. 142 da apostila Motores de Combustão Interna de Êmbolos – Alfred Domschke e Francisco R. Landi.

O bombeamento é feito pelo movimento do êmbolo e a dosagem pela posição da ranhura em hélice do mesmo, pois o curso é constante, para qualquer carga do motor.

O injetor propriamente dito, tem a função única de pulverizar o combustível que já está dosado e pressurizado.

**8.7 – Sistema International Harvester:**

Possui uma bomba de alta pressão para 4 cilindros, ou duas bombas para 6 cilindros e a distribuição é feita por válvulas acionadas por excêntricos. Neste caso o injetor também só pulveriza o combustível que já foi previamente pressurizado.

**8.8 – Sistema General Motors:**

Uma bomba de baixa pressão (60 psi) leva o combustível aos injetores, os quais elevam a pressão para alta, dosam e injetam pulverizando o combustível. Estes injetores são chamados “**injetores unitários**” e são acionados por excêntricos do eixo comando de válvulas. Nestes injetores unitários não há tubulações longas sujeitas a elevadas pressões e a 2100 rpm a sua pressão atinge a 2700 atmosferas.

**8.9 – Sistema Cummins P - T:**

A bomba de baixa pressão leva o combustível ao sistema de medição P - T = pressão, tempo que se baseia num princípio muito simples; “*Num orifício a vazão de combustível é função da pressão e do tempo, que atuam sobre o mesmo*”.

Do sistema de medição, ainda em baixa pressão (90 – 200 psi), cuja variação proporciona maior ou menor potência do motor, o combustível é conduzido por um tubo para a parte superior do motor onde se bifurca em tantos tubos secundários quantos forem os cilindros. Estes tubos secundários vão ter aos respectivos injetores, onde está o orifício calibrado e onde se dá a elevação da pressão do combustível também para cerca de 2000 atmosferas, durante a injeção dentro do cilindro.

Neste sistema, é interessante notar que o êmbolo do injetor permanece erguido enquanto a parte inferior recebe o combustível e também ar quente resultante da compressão do pistão, que vaporiza o combustível. Portanto este injetor injeta não apenas o combustível, mas vapores de combustível, misturados com ar quente. A vantagem deste sistema é ter um tempo maior de mistura ar – combustível.

**8.10 – Tempo de injeção:**

Vamos supor um motor Diesel trabalhando a 1800 rpm = 30 rot/s

1 rotação = 360o  segundo.

Admitindo-se ainda uma injeção de ≅ 36o teremos:

360o 

36o t

O tempo de injeção fica  = 3ms

Assim pode-se ver que o tempo de mistura combustível/ar é tão importante, principalmente considerando-se que existem motores Diesel modernos que trabalham a mais de 4000 rpm.

**8.11 – O jato de combustível:** (pág. 150 apostila)

A principal função do bico injetor é introduzir o combustível na câmara de combustão, num jato finamente pulverizado.

Nos motores que possuem uma pré-câmara de combustão, este jato não necessita ser tão pulverizado como nos motores de injeção direta.

Atualmente, o estudo do jato de combustível é feito com câmeras fotográficas ultra-rápidas, fotografando-se através de uma câmara de combustão transparente, com luz estroboscópica.

Notou-se que o início da injeção é caracterizado pela formação de gotículas e depois é formado o jato propriamente dito, conforme se pode observar na figura 10.14 – pg. 150 da apostila Motores de Combustão Interna de Êmbolos – Alfred Domschke e Francisco R. Landi.

A velocidade do jato ao sair do injetor é **quasi** igual ao valor dado pela fórmula da hidráulica , sendo H a diferença de pressões entre o combustível no injetor e dos gases na câmara de combustão, em metros de coluna do combustível , sendo γ o peso específico do combustível em uso 

* Observando-se os jatos normais nos injetores, temos os seguintes fatos dignos de nota:

1. Existem gotículas de diversos tamanhos, sendo que a maior parte, tem o diâmetro de 5 microns
2. O aumento da pressão de injeção diminui o tamanho das gotículas.
3. Aumentando-se a viscosidade do óleo, cresce o tamanho das gotículas.
4. Aumentando-se o orifício do bico injetor, cresce o tamanho das gotículas.

Considerando-se então a fórmula  podemos calcular a velocidade do jato ao sair do bico injetor, tomando-se como referência o que segue:

Δp = 100 atmosferas = 100 kgf/cm2 = 100 x 104 kgf/m2

g = 9,81m/s2

γ = 800kg/m3 então:

  m/s

 v = 157,0m/s

Se o Δp = 1000 atmosferas ≅ 107 kgf/m2



Nas condições I.S.A. – (International Standard Atmosphere)

T = 15oC p = 1.013,2mB Vsom = 340,3m/s

para p = 100 atm, V = 157m/s = 0,46 Vsom (jato subsônico)

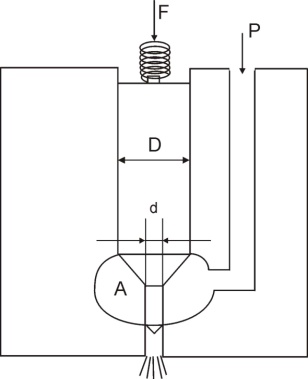
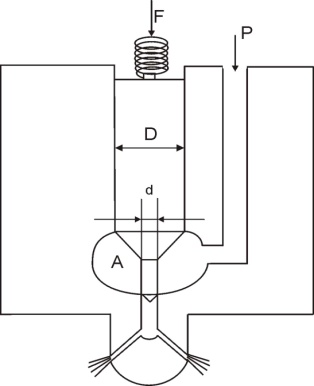
para p = 1000 atm, V = 495m/s = 1,45 Vsom (jato supersônico)

**8.12 – Bico injetor simples pulverizador:**

Os bicos injetores do tipo simples pulverizadores, são os utilizados no sistema de injeção Bosch e similares, tem por finalidade apenas pulverizar o combustível que lhe é entregue na sua pressão de abertura, (normalmente da ordem de centenas de atmosferas) e em quantidades dosadas pela bomba injetora, de acordo com a carga do motor.

Normalmente, os bicos injetores são construídos com jato único, quando são utilizados em motores com pré-câmara de combustão (injeção indireta) ou então são multijatos, quando são utilizados em motores de injeção direta, ou seja, o bico pulveriza diretamente na câmara de combustão do motor.

Esquematicamente, podemos representar um elemento de bico injetor, simples pulverizador, como segue:

 Jato único Multijato

A – Câmaras de pressão

**8.13 – Condição de Injeção:**

Em ambos os casos se consideram;

F – Força exercida pela mola sobre a agulha, necessária para o fechamento do bico

p – Pressão do combustível, na entrada do elemento do bico injetor

D – Diâmetro do corpo da agulha

d – Diâmetro da ponta da agulha

Para que ocorra a injeção do combustível, é necessário que a força, devida a pressão do combustível, que atua na área da ponta da agulha, seja maior que a dada pela ação da carga da mola sobre a agulha, assim teremos:



S = S’-S”  P = p x S = p x (S’-S”) = p x 

P = p x  então para ocorrer à injeção deve-se ter P>F ou 

Alguns autores usam fazer a área S igual a média entre as áreas S’ e S”, simplificando a expressão da condição de injeção. A atuação da pressão da câmara de combustão p’, sobre a área S” é desprezível pois S”<<<S’ e p’<<<p assim a força P’= p’ x S’ que se somaria a P é muito pequena se comparada com os valores de F.

**8.14 –** **Tipos de Sistemas de Injeção de Comando Eletrônico:**

Atualmente os sistemas de injeção mecânicos estão sendo substituídos por novos sistemas que são comandados eletronicamente e por isso são chamados de Sistemas de Injeção Eletrônicos, onde a geração das altas pressões de injeção é realizada por êmbolos ou bombas de deslocamento volumétrico, mas a dosagem dos volumes injetados é realizada pelo comando de válvulas eletromagnéticas de ação muito rápidas de tal forma que é possível modular uma única injeção em vários jatos separados melhorando a eficiência da combustão, reduzindo significativamente o ruído do motor.

Os sistemas de Injeção de Comando Eletrônico dividem-se em três tipos, a saber:

1. Sistema de injeção de pressão modulada **“Common Rail”**
2. Sistema de injeção de bombas unitárias “**Unit Pump System – UPS”**
3. Sistema de injeção unitário “**Unit Injection System UIS”**