

Motores Térmicos

8° Semestre

4° ano

Aula 17 - Formação da Mistura nos Motores Diesel

- ▶ Introdução
- ▶ Estágios da combustão em motores Diesel
- ▶ Requisitos do Sistema de Injecção
- ▶ Elementos do Sistema de Alimentação Diesel
- ▶ Bomba Injectora em linha
- ▶ Bomba Injectora Rotativa
- ▶ Sistemas de Injecção Directa
- ▶ Sistemas de Injecção Indirecta
- ▶ Sistema de Injecção “Common Rail”

17.1 Introdução

- ▶ Embora as reacções químicas, durante a combustão, sejam indubitavelmente muito semelhantes nos motores que funcionam segundo os ciclos Otto e Diesel, os aspectos físicos dos dois processos de combustão são bastante diferentes.
- ▶ No motor Otto em operação normal, o combustível está substancialmente no estado gasoso e o combustível, o ar e os gases residuais estão uniformemente misturados, no instante da ignição. A ignição ocorre em um ou mais pontos fixos e a um ângulo da cambota sujeito a controle preciso.

17.1 Introdução

- ▶ A ignição é seguida pela formação de uma frente de chama definida, através da mistura, com velocidades mensuráveis. Excepto num ponto da ignição ou numa zona de detonação, a combustão, em qualquer ponto dado da mistura, é iniciada por meio de transferência de energia, ou de partículas energizadas, de um elemento adjacente que já está queimando; o período de combustão depende da taxa de ocorrência dessa transferência.

17.1 Introdução

Uma boa atomização requer alta pressão de combustível, pequenos diâmetros dos furos dos injectores, óptima viscosidade do combustível, uma alta pressão no cilindro (grande ângulo de divergência).

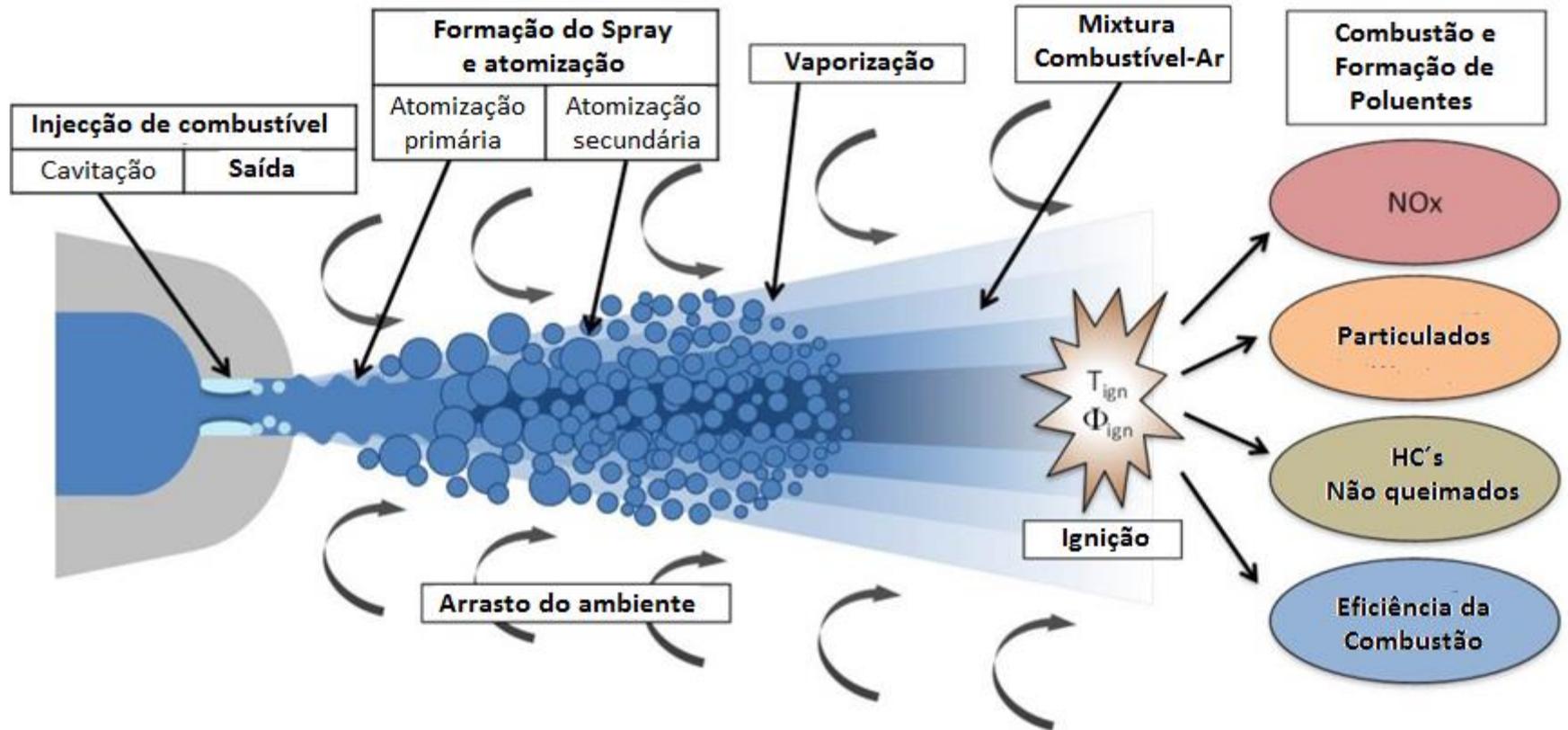
A Taxa de vaporização do combustível depende do diâmetro das gotículas, velocidade delas, volatilidade do combustível, pressão e temperatura do ar.

Ocorrem também processos químicos semelhantes ao fenómeno auto-ignição em misturas ar-combustível, apenas mais complexos do que em reacções heterogéneas (reacções que ocorrem sobre a superfície da gota líquida de combustível).

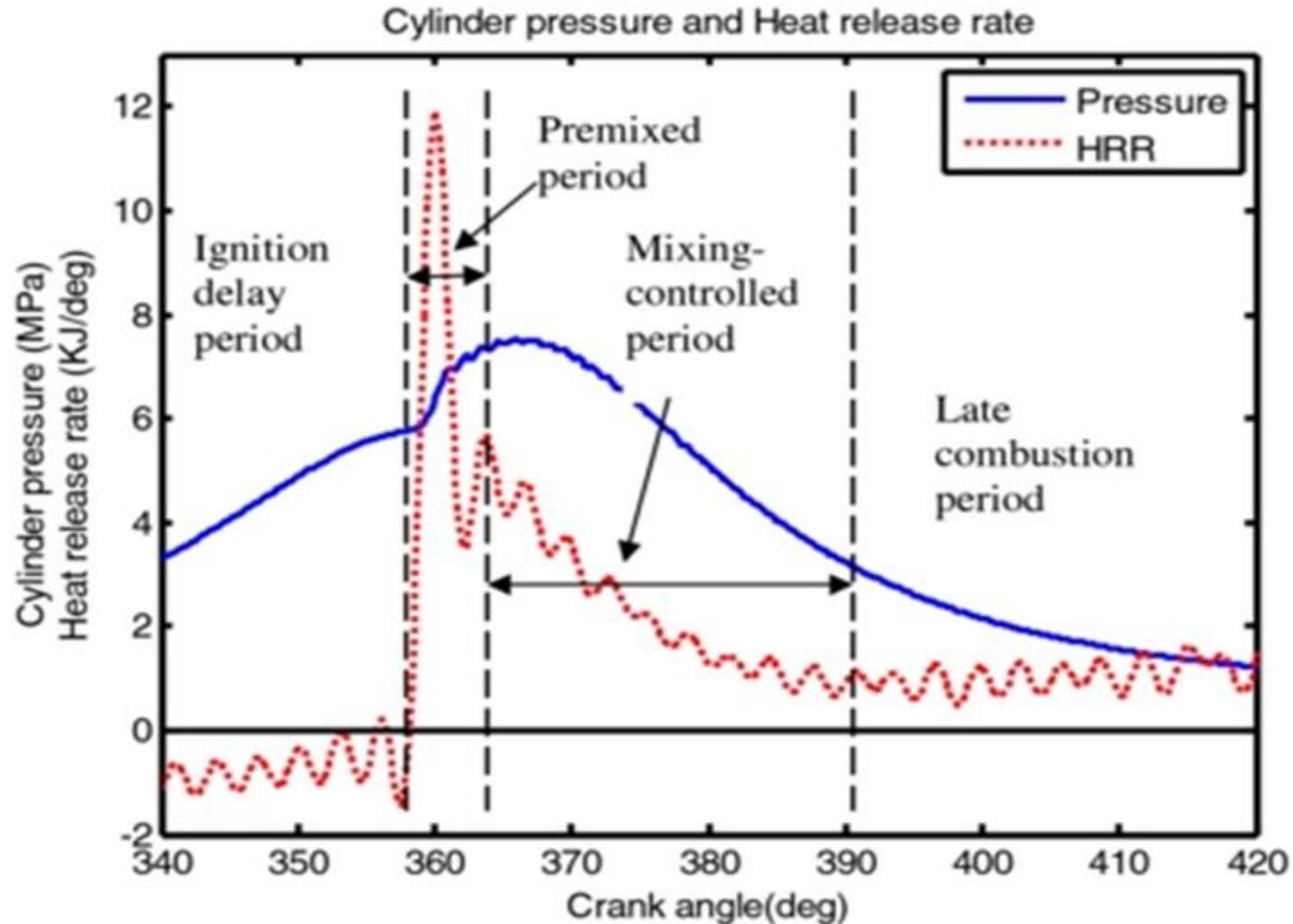
17.2 Estágios da combustão em motores Diesel

- ▶ **Período de injeção.** Período que decorre entre o início da pulverização no cilindro e o fim do escoamento do bocal.
- ▶ **Ângulo de injeção.** Ângulo da cambota entre o início e o fim da injeção.
- ▶ **Período de atraso.** Período entre o início da injeção e o surgimento da primeira chama ou da elevação de pressão.
- ▶ **Ângulo de atraso.** Ângulo da cambota correspondente ao período de atraso.

17.2 Estágios da combustão em motores Diesel



17.2 Estágios da combustão em motores Diesel



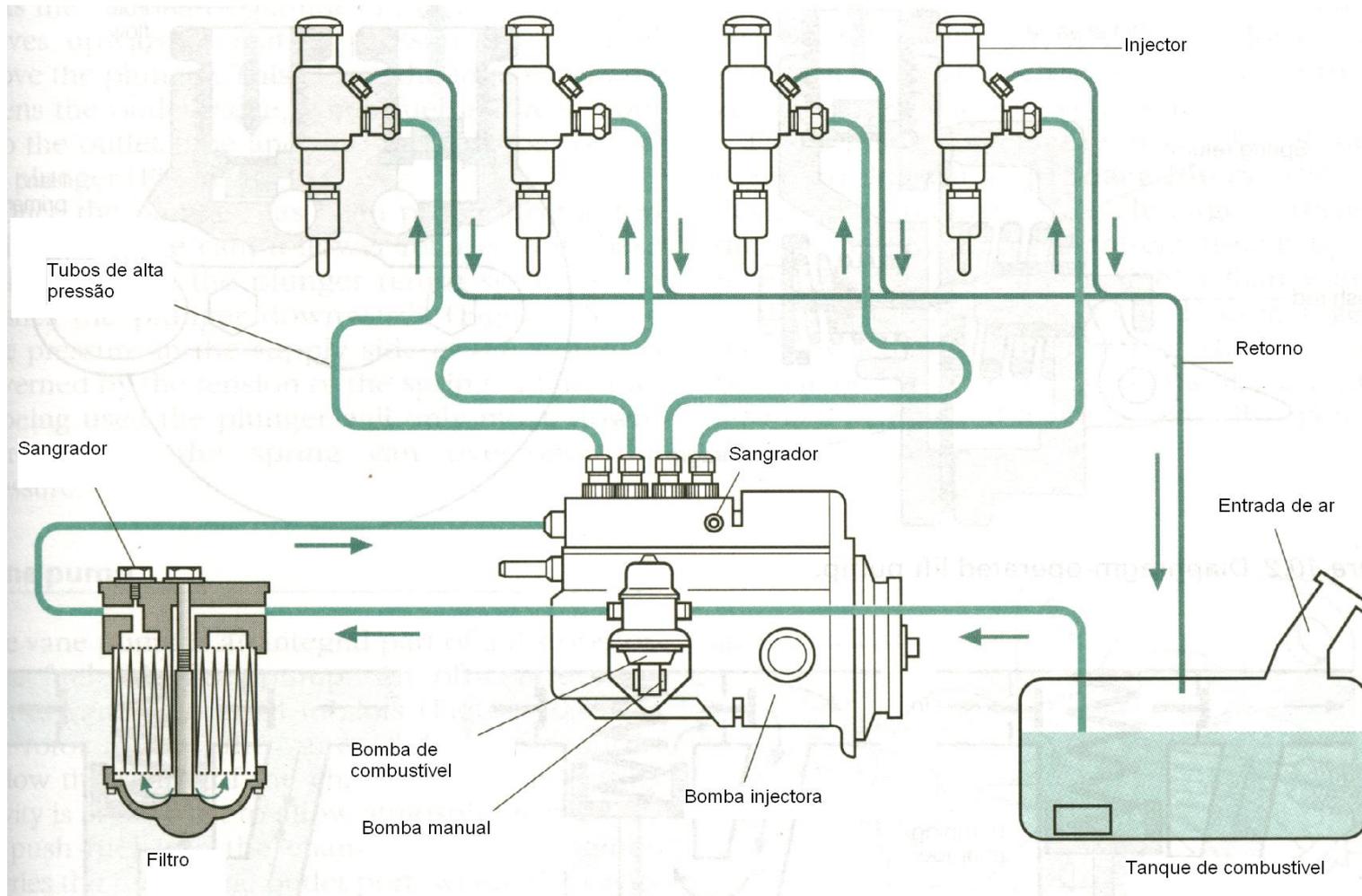
17.3 Requisitos do Sistema de Injecção

- ▶ Medição precisa da massa de combustível por ciclo de trabalho;
- ▶ Adaptação da taxa de injeção às condições de operação;
- ▶ Injecções múltiplas;
- ▶ Mínima injeção de combustível;
- ▶ Adaptação do tempo de injeção;
- ▶ Adaptação flexível as condições de operação e ambientais.

17.4 Elementos do Sistema de Alimentação Diesel

- ▶ O sistema de alimentação do motor que funciona segundo o ciclo Diesel é composto por depósito, bomba manual, pré-filtro, filtros de combustível, bomba injectora, tubos de alta pressão e injectores.
- ▶ Os sistemas de alimentação actualmente utilizados, tanto podem utilizar bombas injectoras rotativas como em linha, variando de caso para caso a posição na qual se encontra a bomba manual de combustível.

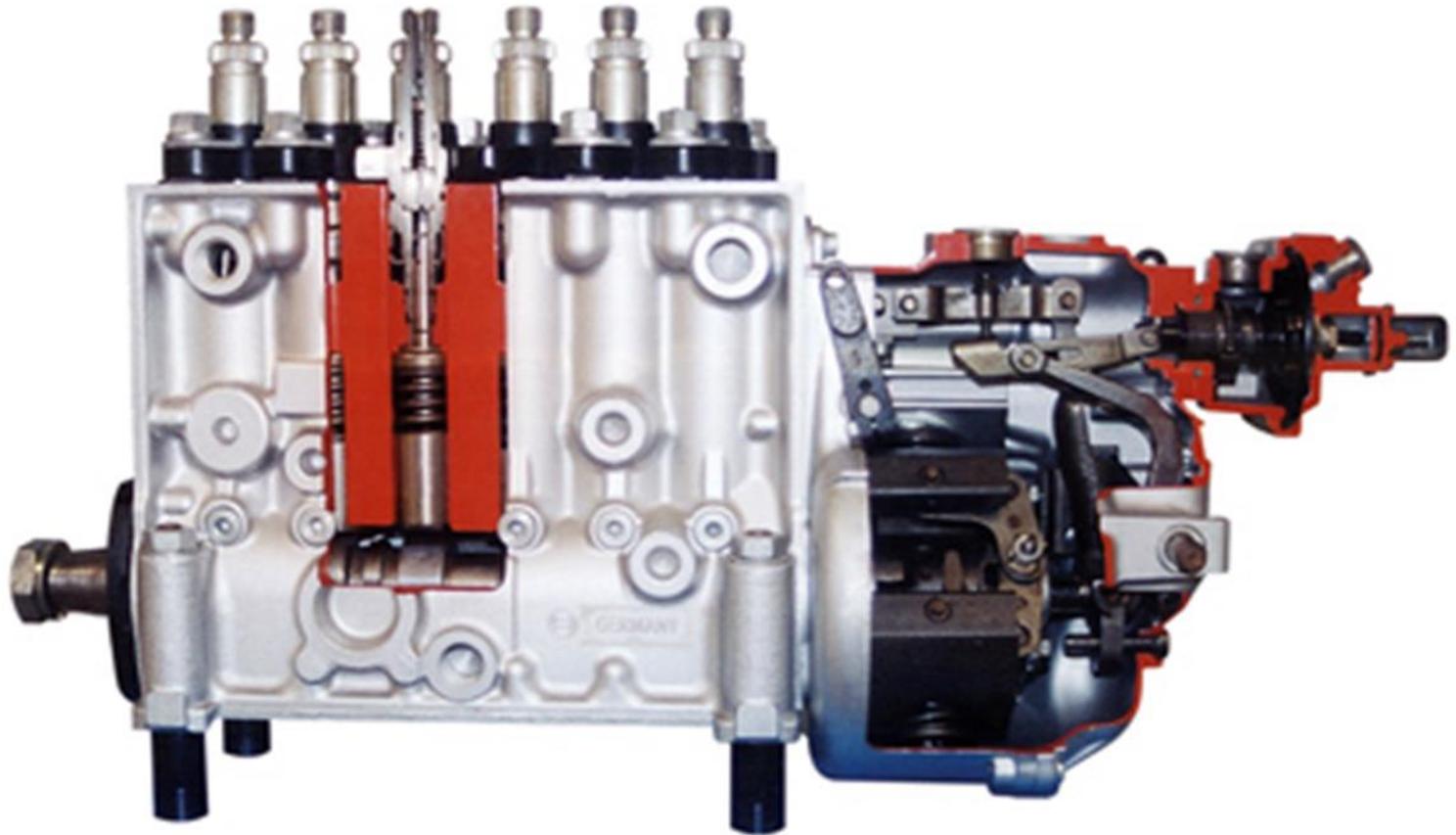
17. Combustão em Motores do Ciclo Diesel



17.4.1 Bomba Injectora em Linha

A bomba injectora em linha, é o órgão que se destina a enviar o gasóleo sob pressão para cada um dos injectores em quantidades perfeitamente reguladas, conforme a aceleração do motor e no momento mais conveniente para o seu bom funcionamento. A bomba injectora é constituída por: corpo da bomba com cárter, janela de visita e colector de alimentação. No cárter está o veio de excêntricos, a bomba de alimentação e os impulsos. Na janela de visita está a régua cremalheira e os elementos de bomba que são constituídos por cilindro, êmbolo e camisa com sector dentado. No colector de alimentação estão as válvulas de retenção e no extremo da régua cremalheira está o regulador automático de velocidade.

17.4.1 Bomba Injectora em Linhal



17.4.2 Bomba Injectora Rotativa

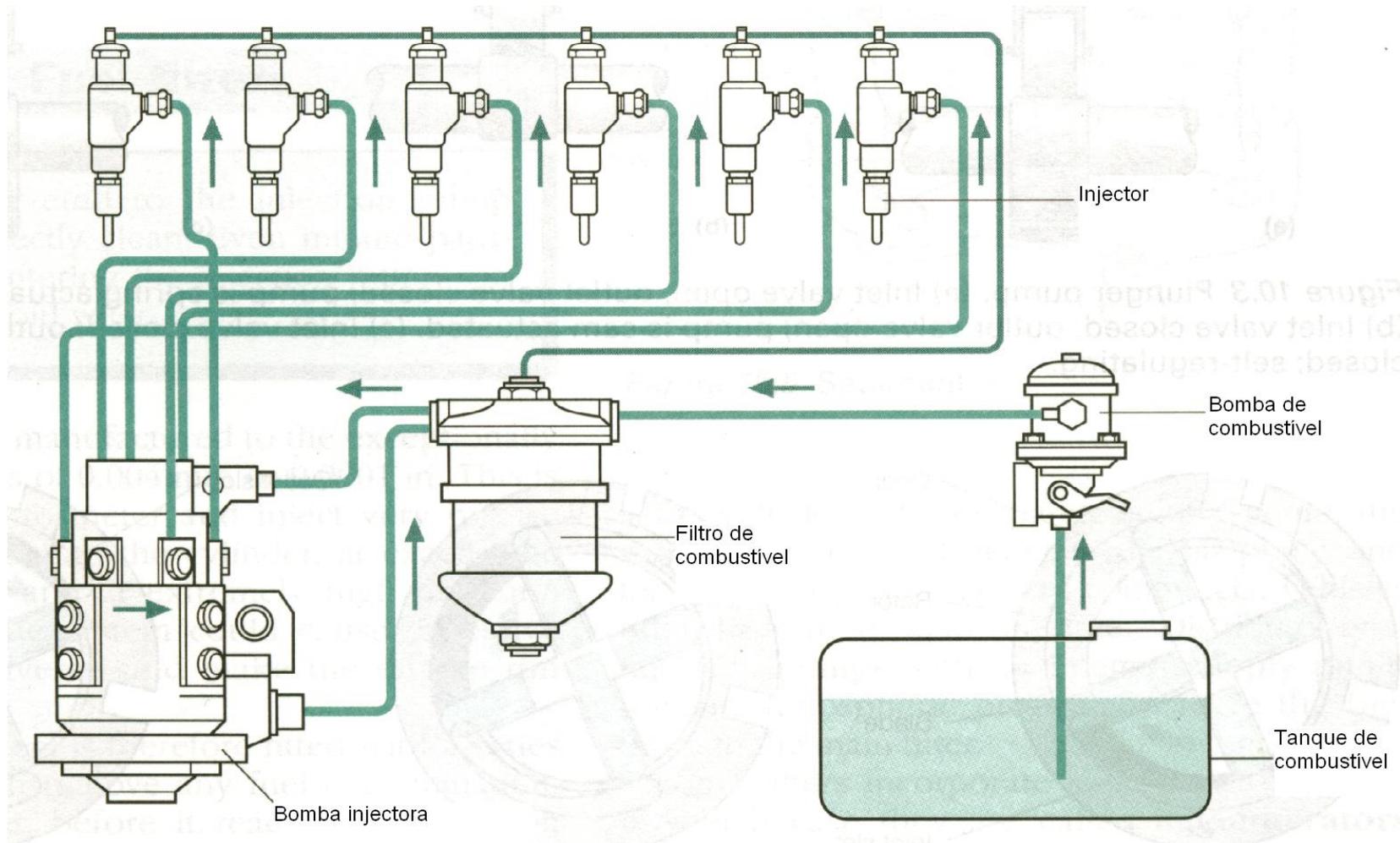
As bombas de injeção rotativas permitem um rápido funcionamento e têm dimensões inferiores às bombas de injeção em linha, pelo que são geralmente utilizadas nos motores Diesel rápidos para automóveis ligeiros. A distribuição do gasóleo efectua-se a partir de êmbolos de movimento alternado que distribuem o gasóleo para cada um dos injectores do motor através de um distribuidor. Durante o funcionamento, todas as suas peças são lubrificadas pelo próprio gasóleo que segue para os injectores, não necessitando de qualquer sistema de lubrificação suplementar. A distribuição do gasóleo é feita pela deslocação dos dois êmbolos opostos, situados numa sede disposta transversalmente no interior do elemento fixo que é a cabeça hidráulica.

17.4.2 Bomba Injectora Rotativa

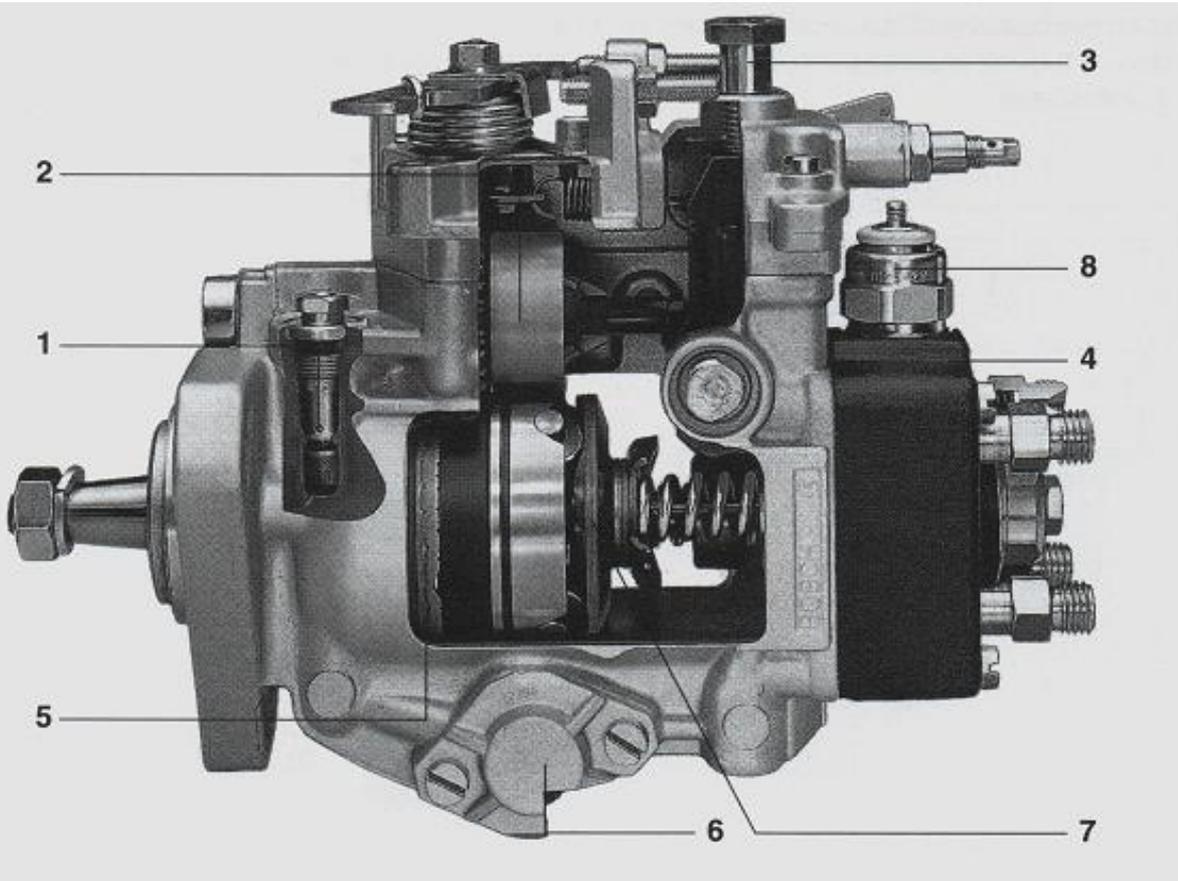
O conjunto do rotor e cabeça hidráulica constituem o distribuidor da bomba. Os êmbolos opostos são accionados pelos excêntricos que estão no alojamento do corpo onde se movimenta o rotor.

Normalmente no alojamento do corpo da bomba existe um número de excêntricos igual ao número de cilindros do motor. Quando no movimento do rotor os êmbolos opostos são accionados pelos excêntricos, enviam o gasóleo sob alta pressão para os canais que fazem parte do distribuidor e que coincidem nos intervalos bem definidos, com os orifícios existentes na cabeça hidráulica para alimentar cada um dos injectores.

17.4.2 Bomba Injectora Rotativa



17.4.2 Bomba Injectora Rotativa



- 1 - Válvula reguladora de pressão
- 2 - Grupo do regulador
- 3 - Estrangulador
- 4 - Corpo do distribuidor com bomba de alta pressão
- 5 - Bomba alimentadora de palhetas
- 6 - Regulador de injeção
- 7 - Came de comando
- 8 - Válvula de corte electromecânica

17.5 Sistemas de Injecção Directa

- ▶ Utilizam-se em princípio nos motores Diesel, pequenos e grandes mas sobretudo é normal a utilização deste tipo de injeção em motores grandes e médios de 3 litros.
- ▶ Consideram-se:
 - ▶ Motores grandes os com $\varepsilon = 12...15$
 - ▶ Motores pequenos os com $\varepsilon = 16...20$
- ▶ Para este método não existe uma divisão do espaço de combustão. Os bocais de injeção (injectores) e os tubos de aspiração têm pequenas inclinações, por isso, existe uma turbulência e uma torção do fluxo dentro do cilindro, importante para formação de uma boa mistura.

17.5 Sistemas de Injecção Directa

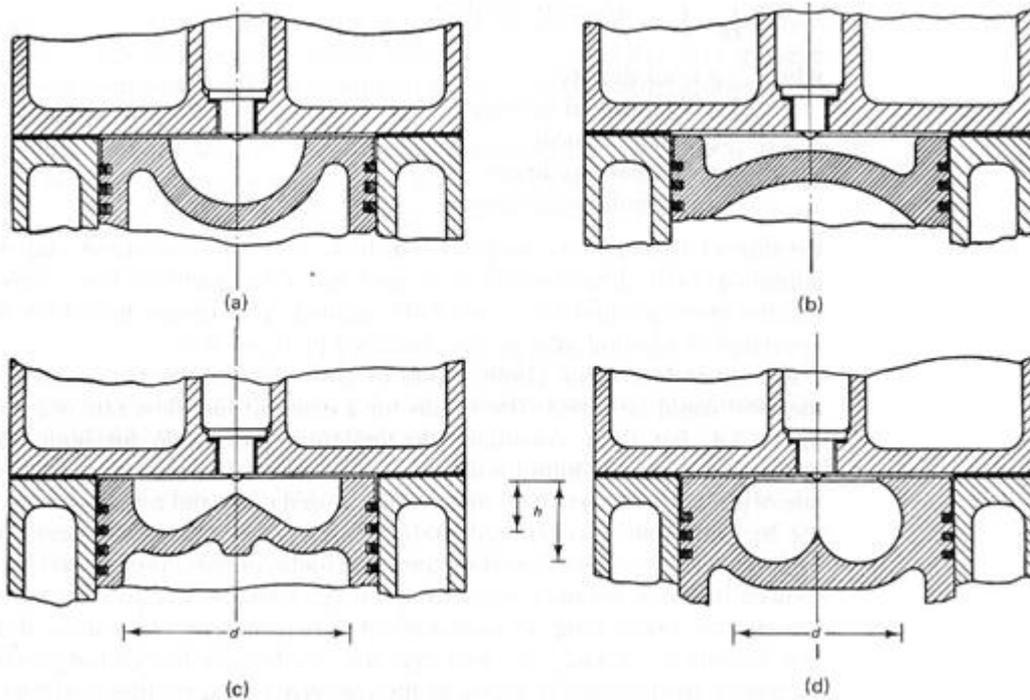
Segundo este método o aproveitamento do combustível é bom e o consumo real do combustível é:

$$b_e = 210...245 \text{ g/kWh}$$

▶ $P_{me} = 5...7 \text{ bar}$

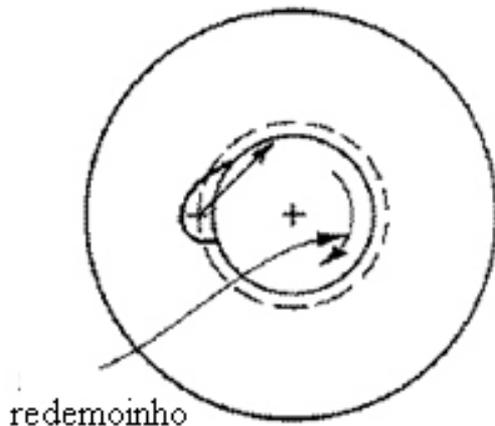
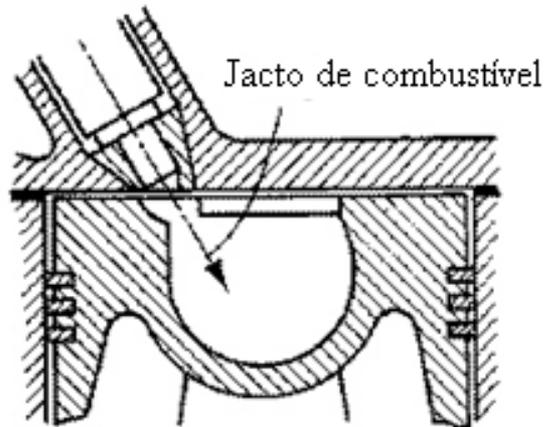
As sobrecargas na bomba injectora, nos bocais e na conduta é grande por causa das altas pressões, por isso este método de injeção foi de difícil concepção para motores pequenos, tendo em vista um grande período útil de mecanismo. Hoje em dia já se aplica em motores pequenos, mas logicamente é caro.

17.5 Sistemas de Injecção Directa



Na figura
apresentam-se
vários tipos de
cilindros com
reentrância usados
em sistemas de
injecção directa

17.5 Sistemas de Injecção Directa



A firma MAN, mais especificamente o eng^o Meurer, desenvolveu o processo **M** que é um espaço de combustão em forma de uma esfera no fundo do êmbolo.

► O jacto de combustível vai de encontro às paredes da esfera e devido a grande turbulência dentro da esfera, forma-se uma película sobre a parede. Só uma pequena parte do combustível entra em combustão. Depois tem-se um aumento da temperatura e só mais tarde a queima de todo o combustível.

17.5 Vantagens e Desvantagens dos Sistemas de Injecção Directa

Vantagens:

- ▶ Perda mínima de calor durante a compressão, devido à menor área de superfície em relação ao volume, o que resulta em melhor eficiência;
- ▶ Podem ser evitados os problemas de arranque a frio;
- ▶ Pode ser alcançada uma atomização fina, com a utilização de um bocal multifuros.

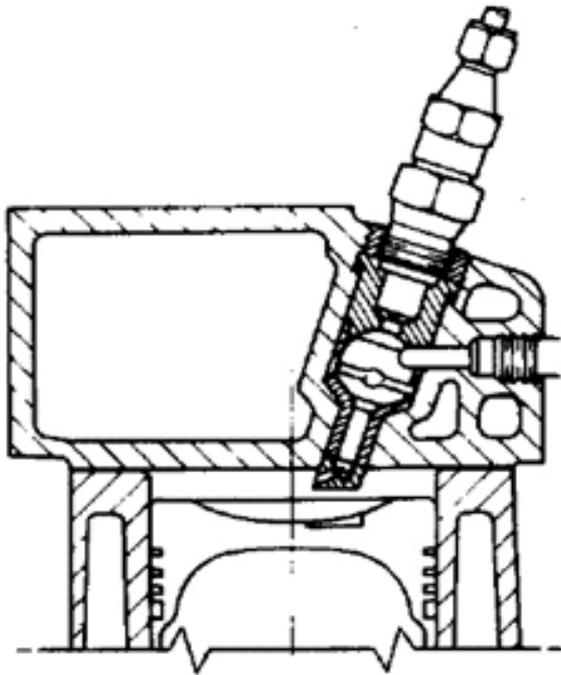
Desvantagens:

- ▶ É necessária alta pressão de injeção de combustível, daí o complexo *design* do sistema de injeção de combustível;
- ▶ A medição do combustível deve ser precisa, particularmente para motores pequenos.

17.6 Sistemas de Injecção Indirecta

- ▶ Os sistemas de injeção indirecta são aqueles em que o espaço de combustão é dividido em dois ou mais compartimentos distintos, entre os quais existem restrições ou gargantas, pequenas o suficiente para que ocorram diferenças de pressão consideráveis entre eles durante o processo de combustão.
- ▶ A queima do combustível inicia numa câmara separada do pistão por meio de uma garganta. Os motores de câmara dividida são frequentemente chamados de motores de pré-câmara.

17.6 Sistemas de Injecção Indirecta



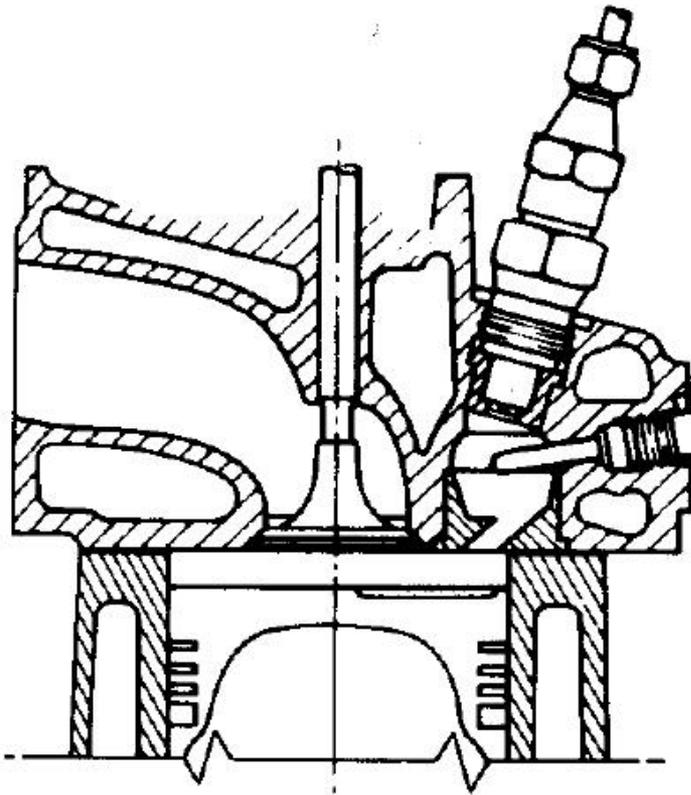
A injeção indirecta consiste na divisão do espaço da combustão. Existe uma câmara principal e uma antecâmara. Na antecâmara pode-se alcançar facilmente uma grande concentração de combustível e a auto-ignição dele (combustível).

Por causa da divisão forma-se durante a compressão uma grande turbulência do ar, o que faz com que a distribuição do combustível seja boa e não seja necessária uma grande pressão de injeção para produzir turbulência.

A injeção indirecta utiliza-se geralmente em motores pequenos e médios (até 3 litros).

A pressão de injeção tem o valor entre 60÷180 bar e faz-se durante um ângulo de rotação da cambota de 25° a 35°.

17.6 Sistemas de Injecção Indirecta



Neste processo tem-se uma antecâmara em forma de cilindro que se encontra ligada por um ou mais pequenos canais ao espaço de combustão. Primeiro uma parte do combustível queima dentro da antecâmara, lá a temperatura e a pressão aumentam e forma-se uma grande corrente de mistura dos canais para o cilindro e lá queima-se o resto do combustível. Devido à formação de uma boa mistura, com este método só é necessária uma pequena relação de excesso ar λ .

$$\lambda = 1,3 \dots 1,7$$

A antecâmara deve ter 1/50 a 1/75 do volume total do cilindro

17.6 Vantagens e Desvantagens dos Sistemas de Injecção Indirecta

Vantagens:

- ▶ Necessária baixa pressão de injeção;
- ▶ A direcção do spray não é importante;
- ▶ Maiores pressões médias efectivas, o que significa que também o trabalho ou a potência por cilindro são maiores, ou por outra, o momento relativo do motor é maior durante uma maior faixa de número de relações do motor.

Desvantagens:

- ▶ Baixo desempenho no arranque a frio;
- ▶ O consumo específico de combustível é elevado, pois existem perdas de fluxo, essencialmente nos canais entre a antecâmara e o cilindro.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

Desde a construção do primeiro motor Diesel, o principal problema tem sido o processo de **injecção do combustível** para a combustão ideal. Os sistemas existentes não sofreram grandes modificações no correr dos anos. As principais alterações, que resultaram em evolução significativa, foi, primeiramente o advento da bomba rotativa, desenvolvida por Robert Bosch em 1727, que permitiu aos motores alcançarem rotações mais elevadas e, conseqüentemente, mais potência.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

No sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail", a produção da pressão e a injeção estão acoplados. A pressão de injeção é produzida independentemente da rotação do motor e do volume de injeção e o combustível está no "Rail" (**acumulador de combustível de alta pressão**) pronto para a injeção.

O momento e o volume de injeção são calculados na unidade de comando electrónica e transferidos para o injector (unidade de injeção) em cada cilindro do **motor**. Com o injector controlado electronicamente e o combustível a alta pressão sempre disponível, obtém-se uma curva de injeção muito precisa.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

Com a ajuda de sensores a unidade de comando pode captar a condição real de funcionamento do **motor** e do **veículo** em geral. Ela processa os sinais gerados pelos sensores e recebidos através de cabos de dados. Com as informações obtidas ela tem condição de comandar e regular o **veículo** e, principalmente, o **motor**.

O sensor de rotação do eixo de comando, determina, com o auxílio do efeito "Hall", se o cilindro se encontra no PMS da combustão ou da troca de gás.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

Um potenciómetro com função de sensor no pedal do acelerador, informa através de um sinal eléctrico a unidade de comando, com que força o condutor accionou o pedal (aceleração).

O medidor de massa de ar informa a unidade de comando que massa de ar encontra-se disponível para assegurar uma combustão o mais completa possível. Havendo um turbocompressor, actua ainda um sensor que regista a pressão de carga. Com base nos valores dos sensores referidos e mais os de temperatura do agente de refrigeração e da temperatura do ar a unidade de controle calcula o pulso de injecção.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

O Sistema de Injecção “Common Rail” é aplicável a motores Diesel de Alta Rotação;

O acumulador “Comum Rail” age como reservatório de pressão e distribuidor aos electro-injectores;

Disponibiliza pressões de injecção de 150 a 2000 bar;

A pressão de injecção é produzida independentemente da rotação do motor;

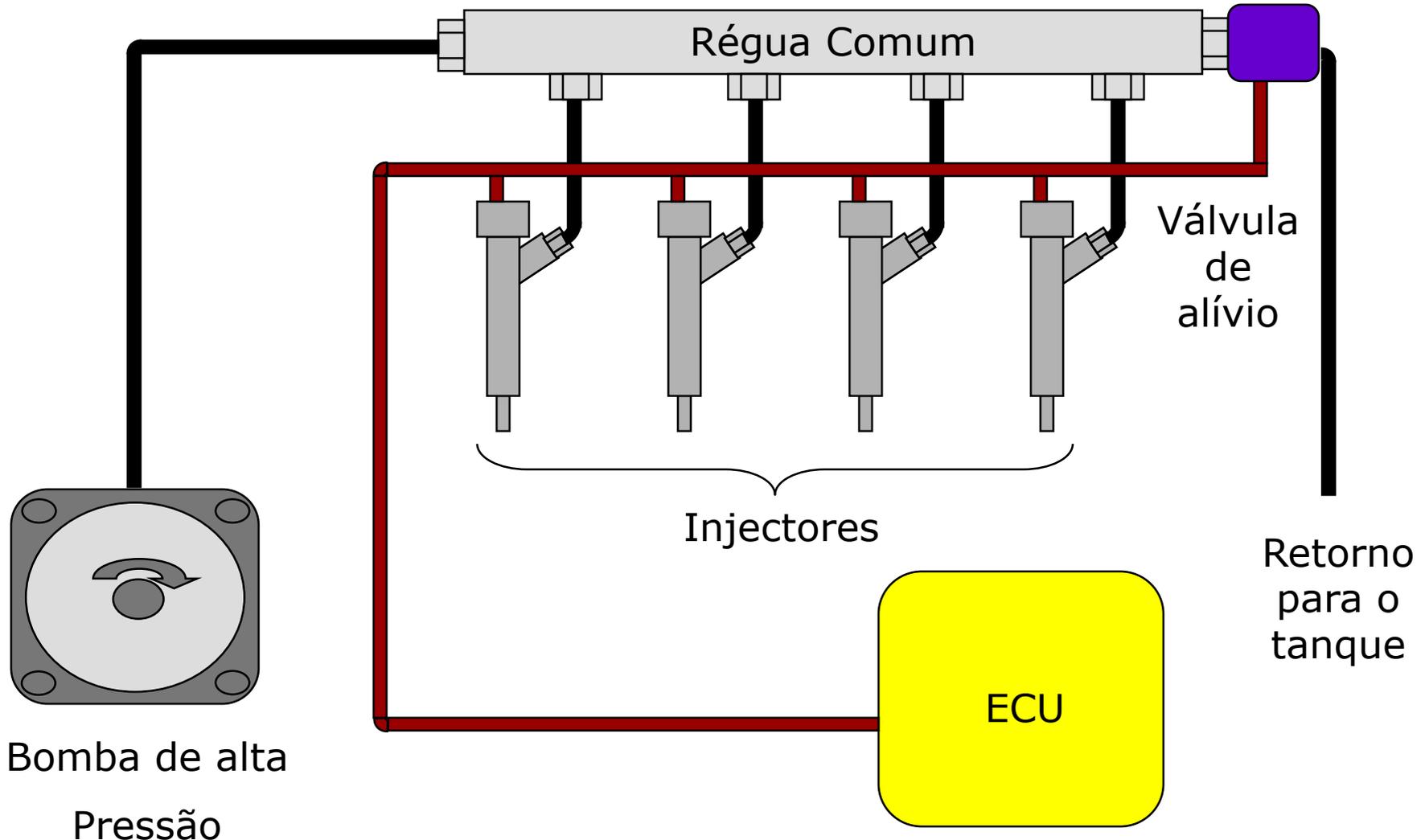
Capacidade de funcionar com regimes de rotação do motor de até 6000 RPM;

Precisão do volume injectado, pressão e inicio da injecção adaptados a cada regime de rotação;

Redução do consumo de combustível;

Redução do nível de emissões de poluentes.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

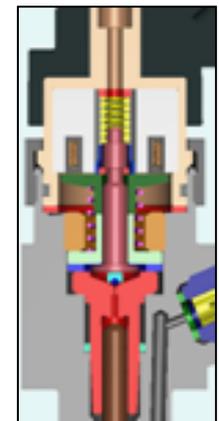
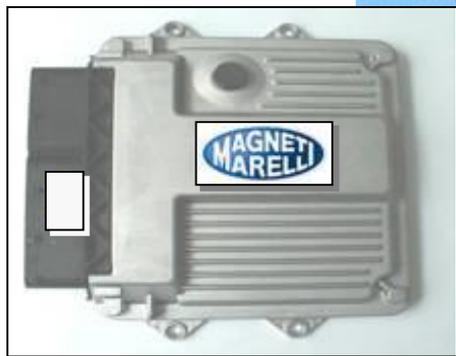
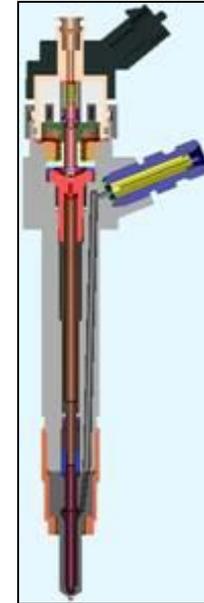
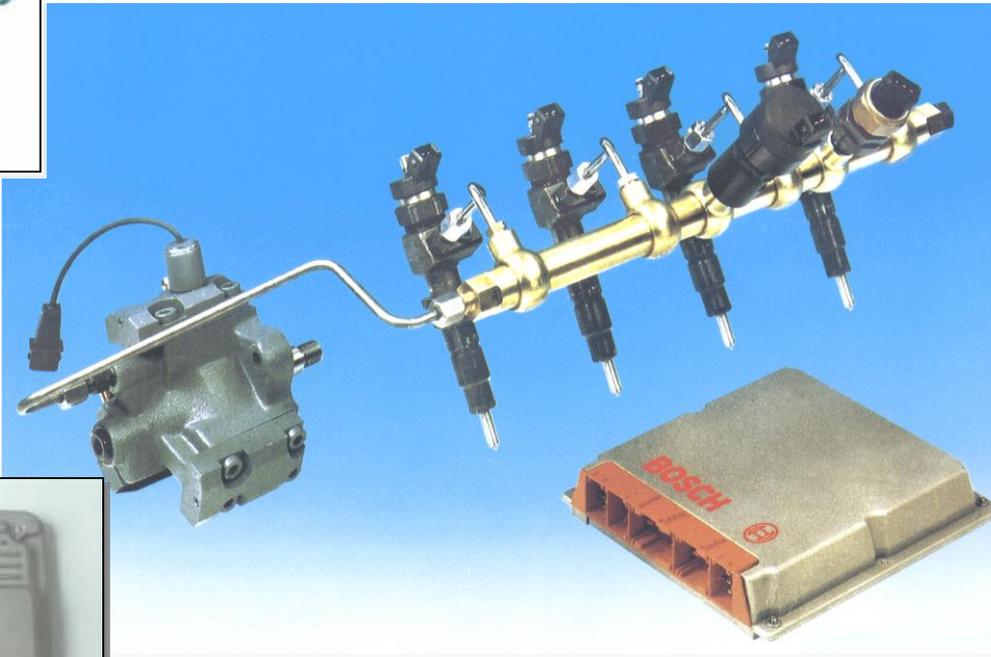
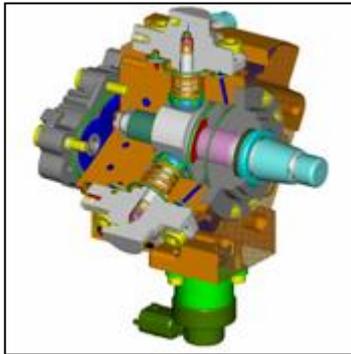


17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

○ Sistema de Injecção “Common Rail” é composto por:

- ▶ Bomba de combustível eléctrica de baixa pressão
- ▶ Bomba mecânica radial de alta pressão
- ▶ Regulador de pressão
- ▶ Acumulador comum “common rail”
- ▶ Electro-Injectores
- ▶ Sistema de gestão electrónico composto por central electrónica, sensor de pressão, do acumulador, sensores e actuadores.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

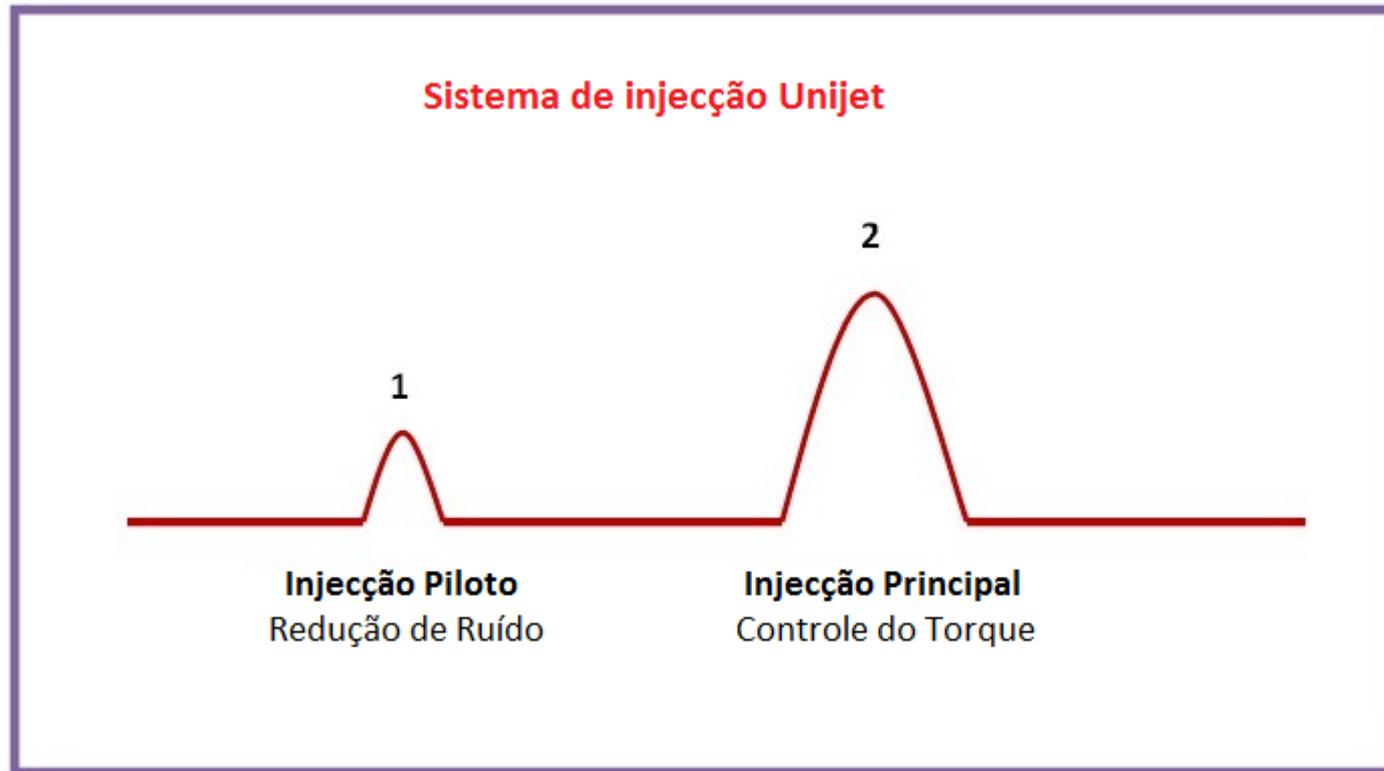


17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

Em 2003, com o intuito de fazer-se um motor Diesel muito melhor, desenvolveu-se a tecnologia *Multi Jet*. A tecnologia *Unijet* Turbo Diesel (common rail) foi atualizada para a tecnologia *MultiJet*. Como o nome sugere, neste sistema o número de injeções aumenta para um total de cinco, o que introduziu ainda mais refinamento e desempenho.

Há duas diferenças principais entre a tecnologia *MultiJet* e a sua antecessora *UniJet*. Uma delas está no injector e a outra na Unidade de Controle Eletrônica. Na tecnologia *UniJet* existem apenas duas injeções por ciclo, uma pré-injecção (injecção piloto), que aumenta a temperatura e pressão no interior do cilindro e uma injeção principal.

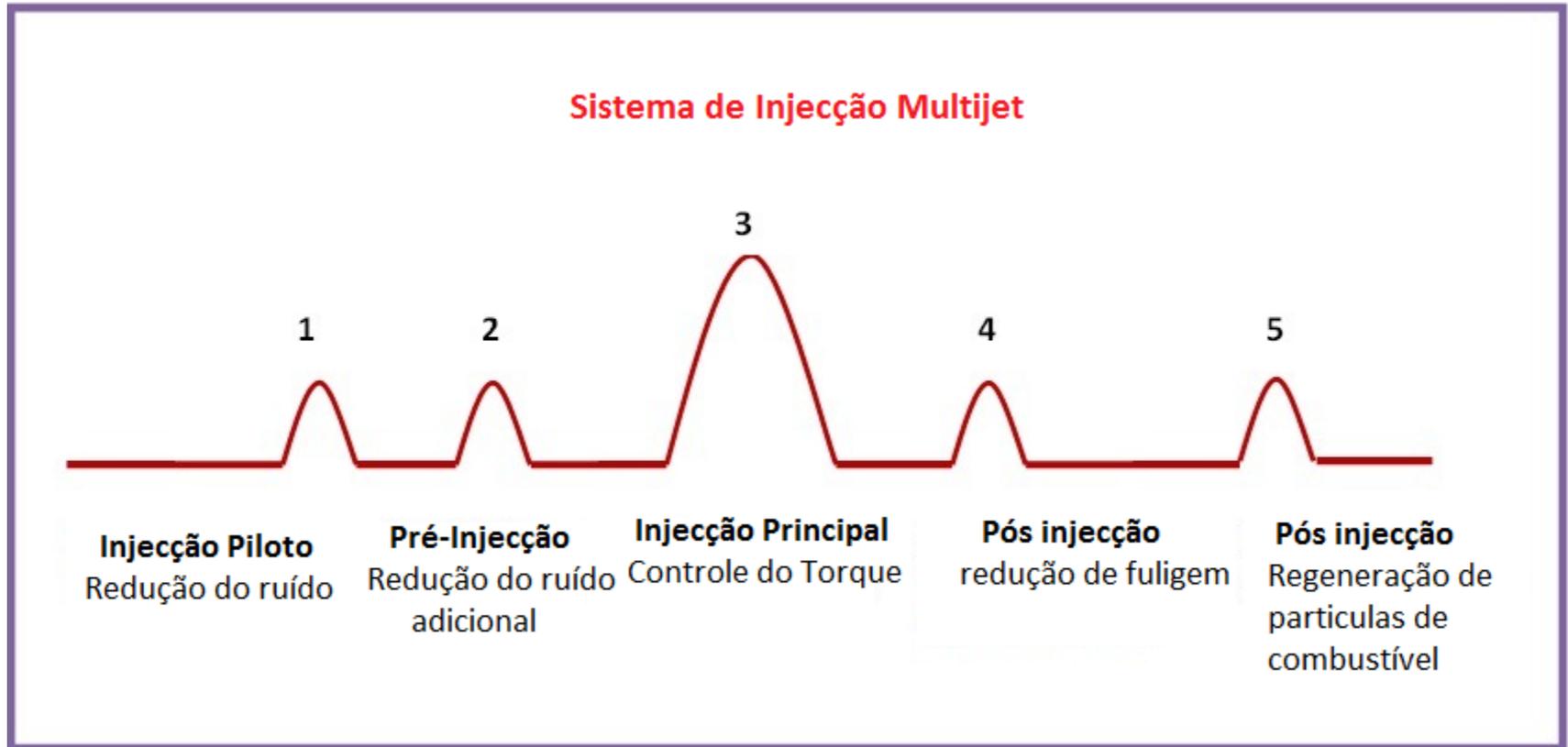
17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”



17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

Em motores *Multijet* a injeção principal é dividida em múltiplas injeções menores (cinco injeções), que asseguram uma combustão estável, eficiente e completa ao longo do ciclo. Mantendo as quantidades de gasóleo queimado em cada curso iguais. As múltiplas injeções menores em certos intervalos do ciclo resultam numa combustão mais suave, mais silenciosa, com alta eficiência e baixas emissões. Todas essas injeções são controladas eletronicamente, através da avaliação de múltiplos sinais de retroalimentação, como rotação do motor, torque necessário num determinado período de tempo e temperatura.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”



17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

Em 2009, foi desenvolvida uma nova versão de injecção *MultiJet*, a *MultiJet II*. A evolução desta tecnologia *MultiJet II*, consiste no aumento até oito injecções por ciclo. Ao avaliar muitas variáveis essas injecções são precisamente controladas para melhorar a eficiência, a economia de combustível, a geração de energia, a redução do ruído, as vibrações e as emissões.

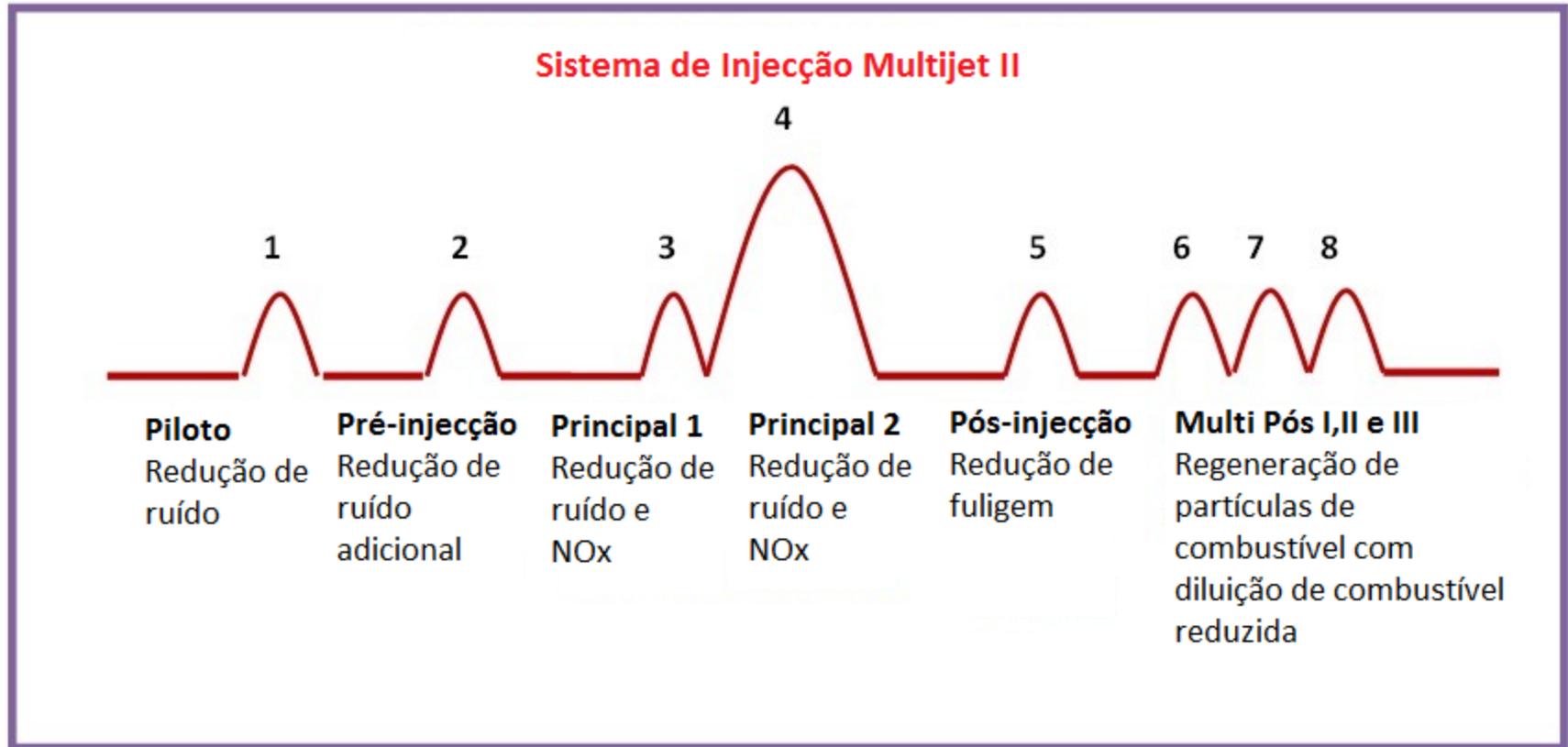
17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

O aumento até oito injeções por ciclo consegue-se graças a um novo injektor fabricado pela Bosch e integrado pela Magneti Marelli em sua própria unidade de controle do motor.

O obturador é accionado hidraulicamente, o que permite um diâmetro de vedação maior com cursos de liberação reduzidos. Graças a esta nova servo-válvula, é possível controlar com mais precisão e rapidez a quantidade de combustível injectado na câmara de combustão.

As pressões de injeção também variam de acordo com a geração do motor *MultiJet*. Na primeira geração de motores *MultiJet*, a pressão alcançada foi de 1600 bar, enquanto na segunda geração a pressão sobiu para 1800 bar.

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”



17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

O sistema *Multijet* é uma evolução do princípio “Common Rail” que aproveita o controle electrónico dos injectores para realizar, a cada ciclo do motor, um maior número de injeções em relação às duas injeções do sistema *Unijet*. Desta forma, a mesma quantidade de gasóleo é queimada no interior do cilindro, mas de forma mais distribuída, o que permite obter uma combustão mais gradual.

Graças ao aumento dos ciclos de injeção, consegue-se uma combustão ainda mais progressiva, o que se traduz numa redução do ruído do motor a frio, e sobretudo das emissões poluentes

A primeira geração de motores Common Rail MultiJet é caracterizada pelo aumento do número de injeções de duas para cinco injeções por ciclo. Para poder aumentar o número de injeções é necessário ter injectores capazes de reduzir o tempo entre as injeções, em uma magnitude de 1500 a 150 μs .

Também foi necessário reduzir a quantidade mínima injectada, que passou de 2 para menos de 1 mm^3 .

17.7 Sistema de Injecção “Common Rail”

