

MOTORES TÉRMICOS

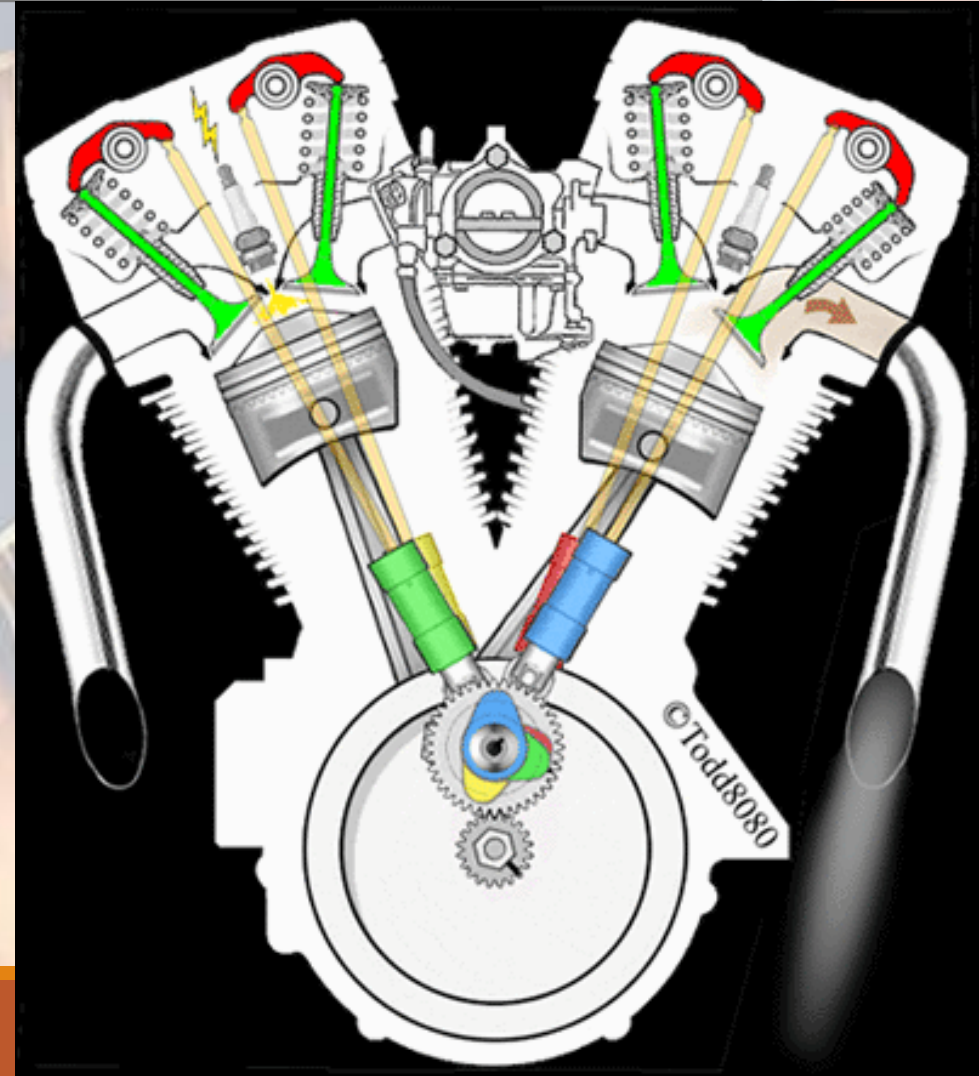
AULA 18-19 – MCI: NOMENCLATURA E CLASSIFICAÇÃO

PROF.: KAIO DUTRA



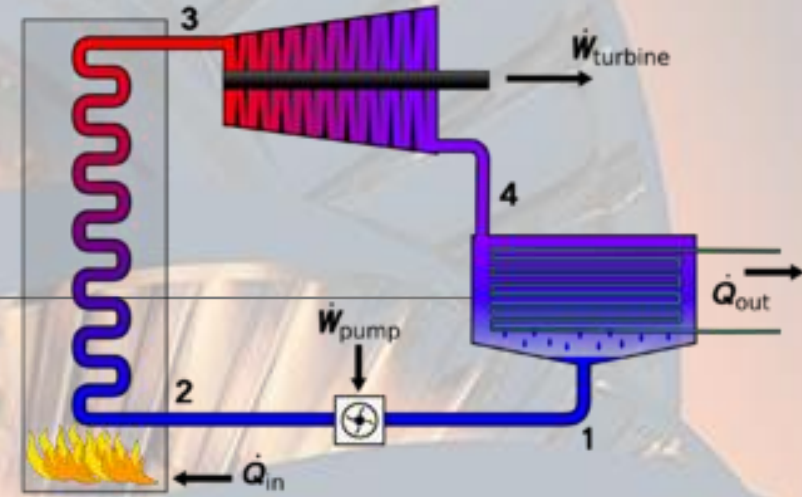
Motores

- As **máquinas térmicas** são dispositivos que permitem transformar **calor em trabalho**.
- A obtenção de trabalho é ocasionada por uma sequência de processos realizados numa substância que é denominada “fluido ativo – FA”.



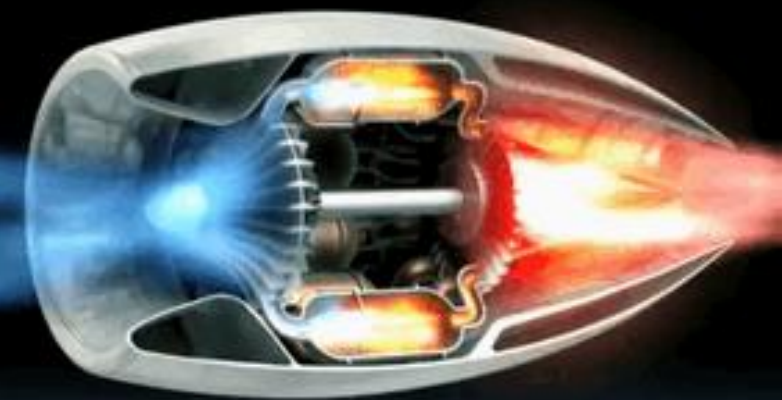
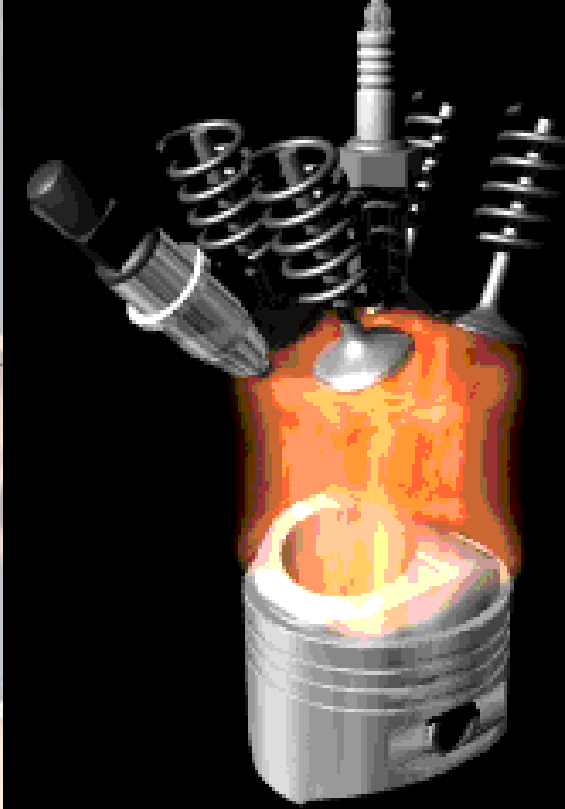
Motores

- Quanto ao comportamento do **fluido ativo**, as máquinas térmicas podem ser classificadas em:
 - **Motores de combustão externa (MCE):** Quando a combustão se processa externamente ao FA, que será apenas o veículo da energia térmica a ser transformada em trabalho.
 - **Motores de combustão interna (MCI):** Quando o FA participa diretamente da combustão.



Motores

- Quanto à forma de se **obter trabalho mecânico**, os MCI são classificados em:
 - **Motores alternativos:** quando o trabalho é obtido pelo movimento de vaivém de um pistão, transformando em rotação contínua por um sistema biela-manivela.
 - **Motores rotativos:** quando o trabalho é obtido diretamente por um movimento de rotação.

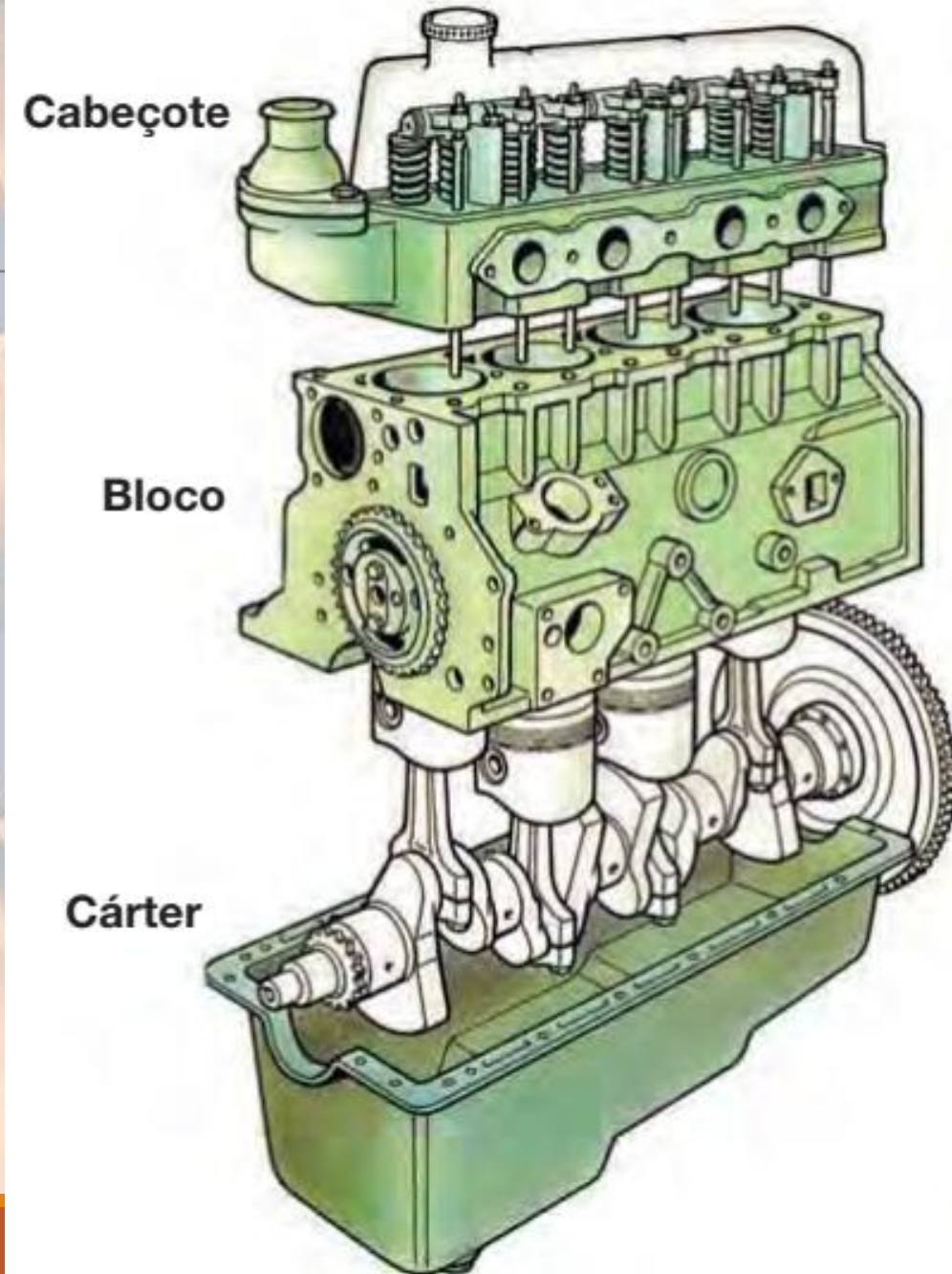


Motores Alternativos

Nomenclatura

- Pode-se dividir os **componentes** básicos de um **MCI** em dois grupos:
 - Componentes **Estacionários**:
 - Bloco
 - Cabeçote
 - Cáster
 - Coletor de Admissão
 - Coletor de Escape

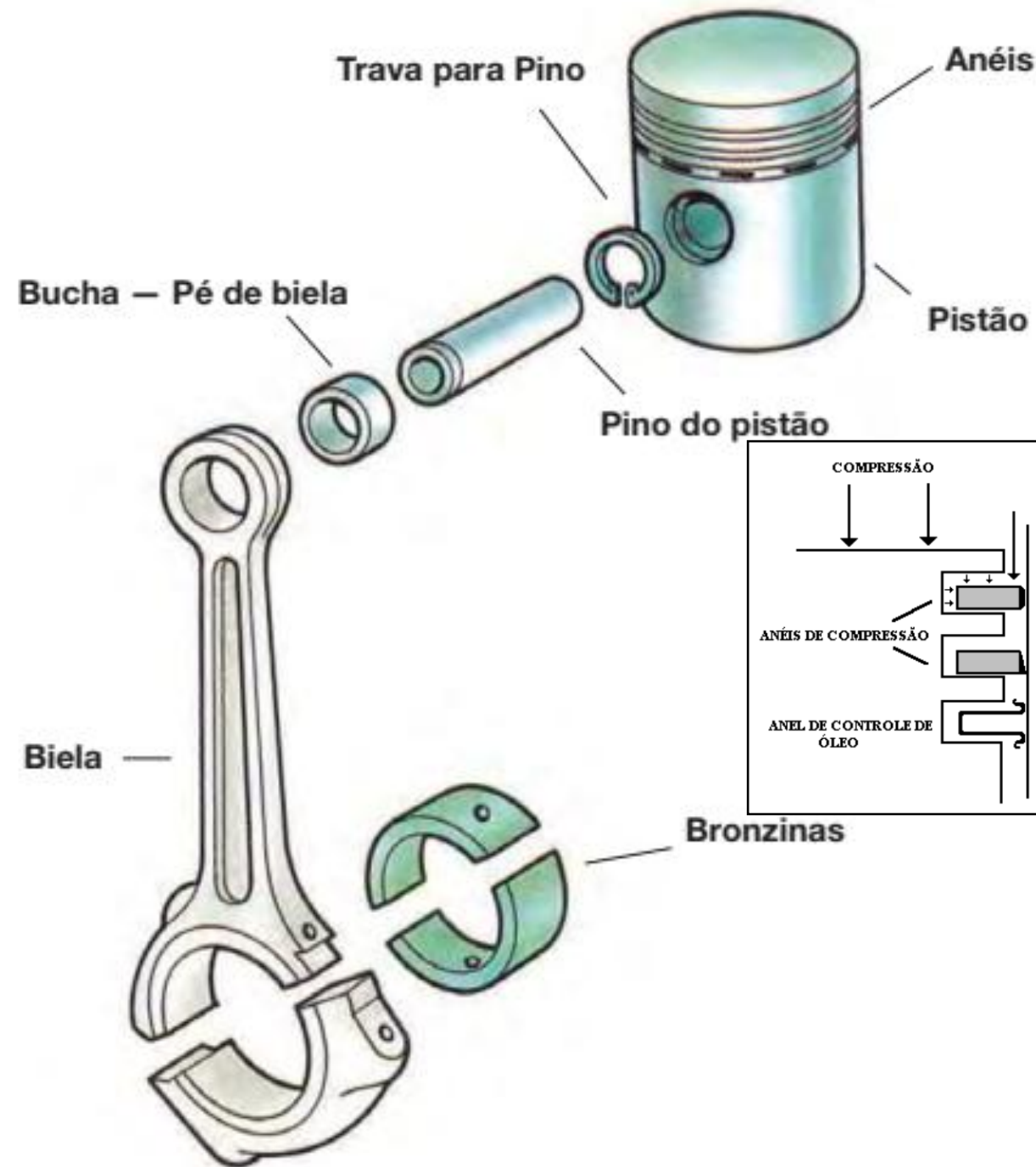
ÓRGÃOS ESTACIONÁRIOS



Motores Alternativos

Nomenclatura

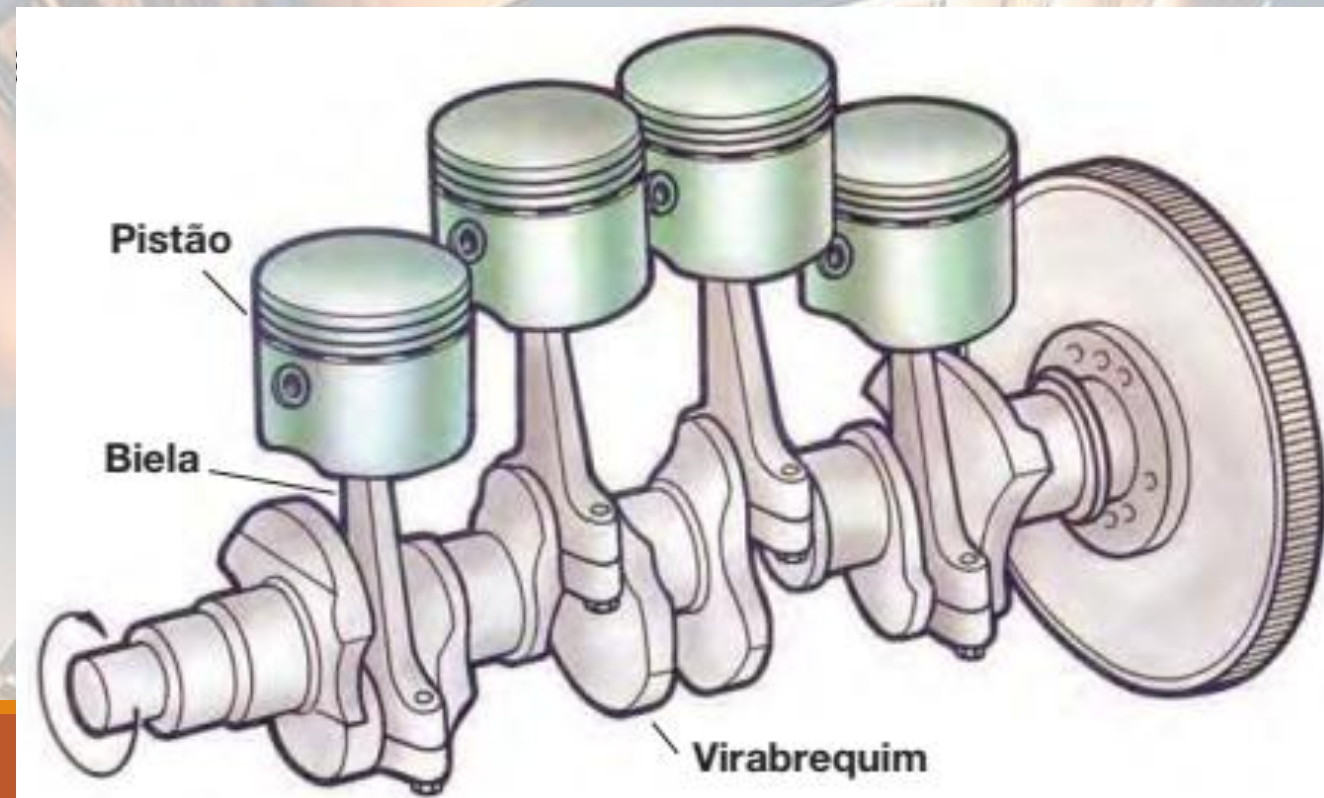
- Pode-se dividir os **componentes** básicos de um **MCI** em dois grupos:
- **Componentes Móveis:**
 - Biela;
 - Pistão/Anel;
 - Virabrequim;
 - Eixo comando de válvulas;
 - Válvulas;
 - Conjunto de acionamento das válvulas;
 - Polias;
 - Bomba de óleo;
 - Bomba d'água;



Motores Alternativos

Nomenclatura

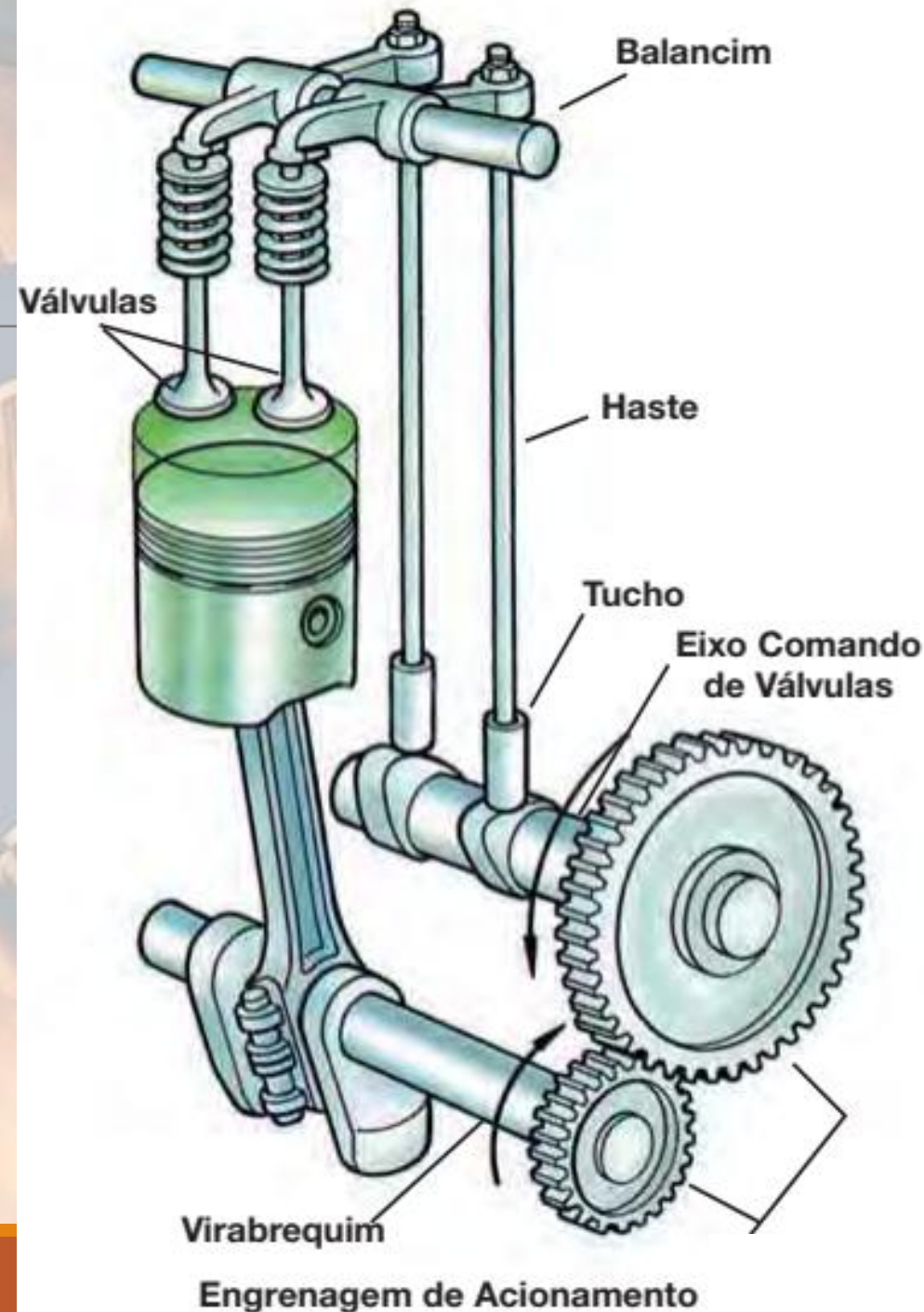
- Pode dividir os **componentes** básicos de um **MCI** em dois grupos:
 - Componentes **Móveis**:
 - Biela;
 - Pistão/Anel;
 - Virabrequim;
 - Eixo comando de válvulas;
 - Válvulas;
 - Conjunto de acionamento das válvulas;
 - Polias;
 - Bomba de óleo;
 - Bomba d'água;



Motores Alternativos

Nomenclatura

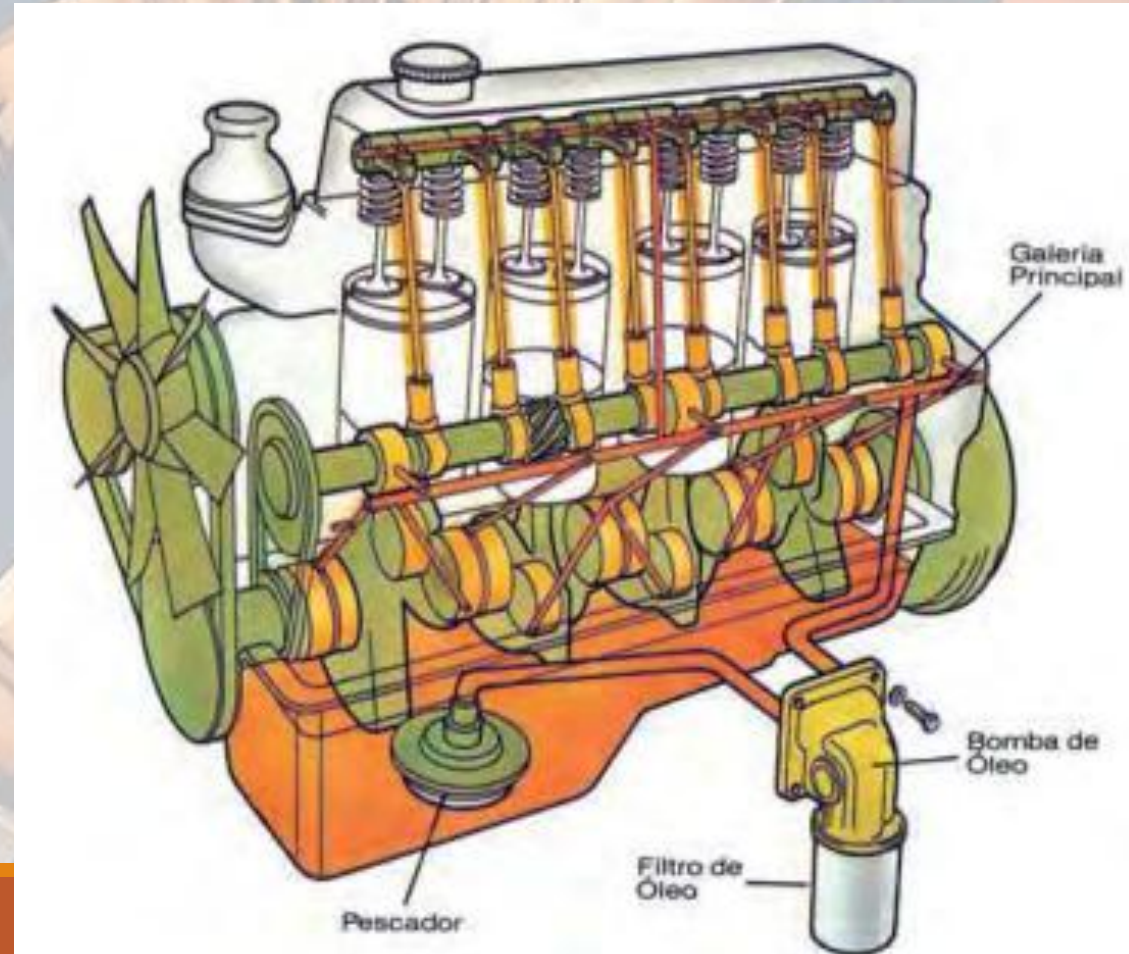
- Pode dividir os **componentes** básicos de um **MCI** em dois grupos:
 - Componentes **Móveis**:
 - Biela;
 - Pistão/Anel;
 - Virabrequim;
 - Eixo comando de válvulas;
 - Válvulas;
 - Conjunto de acionamento das válvulas;
 - Polias;
 - Bomba de óleo;
 - Bomba d'água;



Motores Alternativos

Nomenclatura

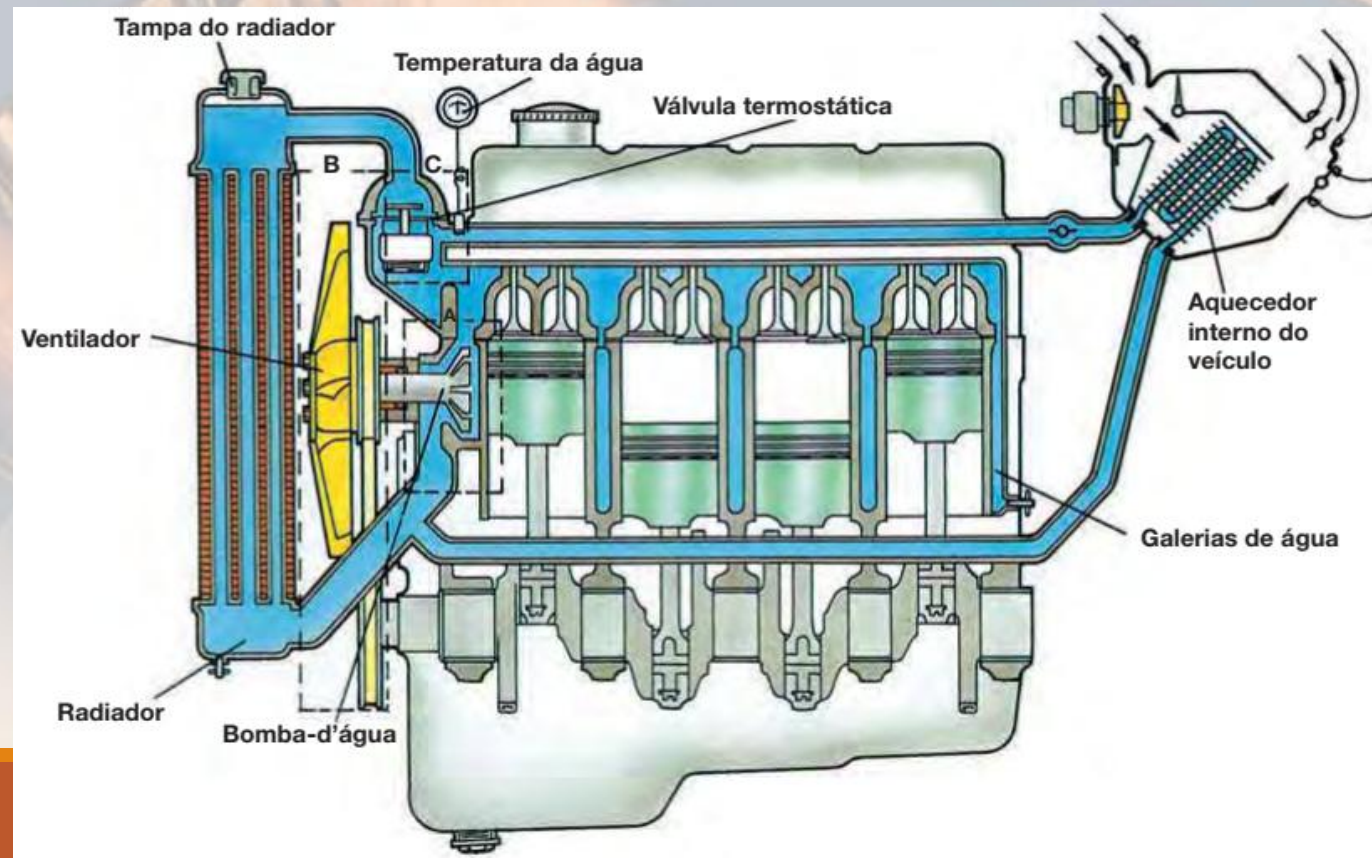
- Pode dividir os **componentes** básicos de um **MCI** em dois grupos:
 - Componentes **Móveis**:
 - Biela;
 - Pistão/Anel;
 - Virabrequim;
 - Eixo comando de válvulas;
 - Válvulas;
 - Conjunto de acionamento das válvulas;
 - Polias;
 - Bomba de óleo;
 - Bomba d'água;



Motores Alternativos

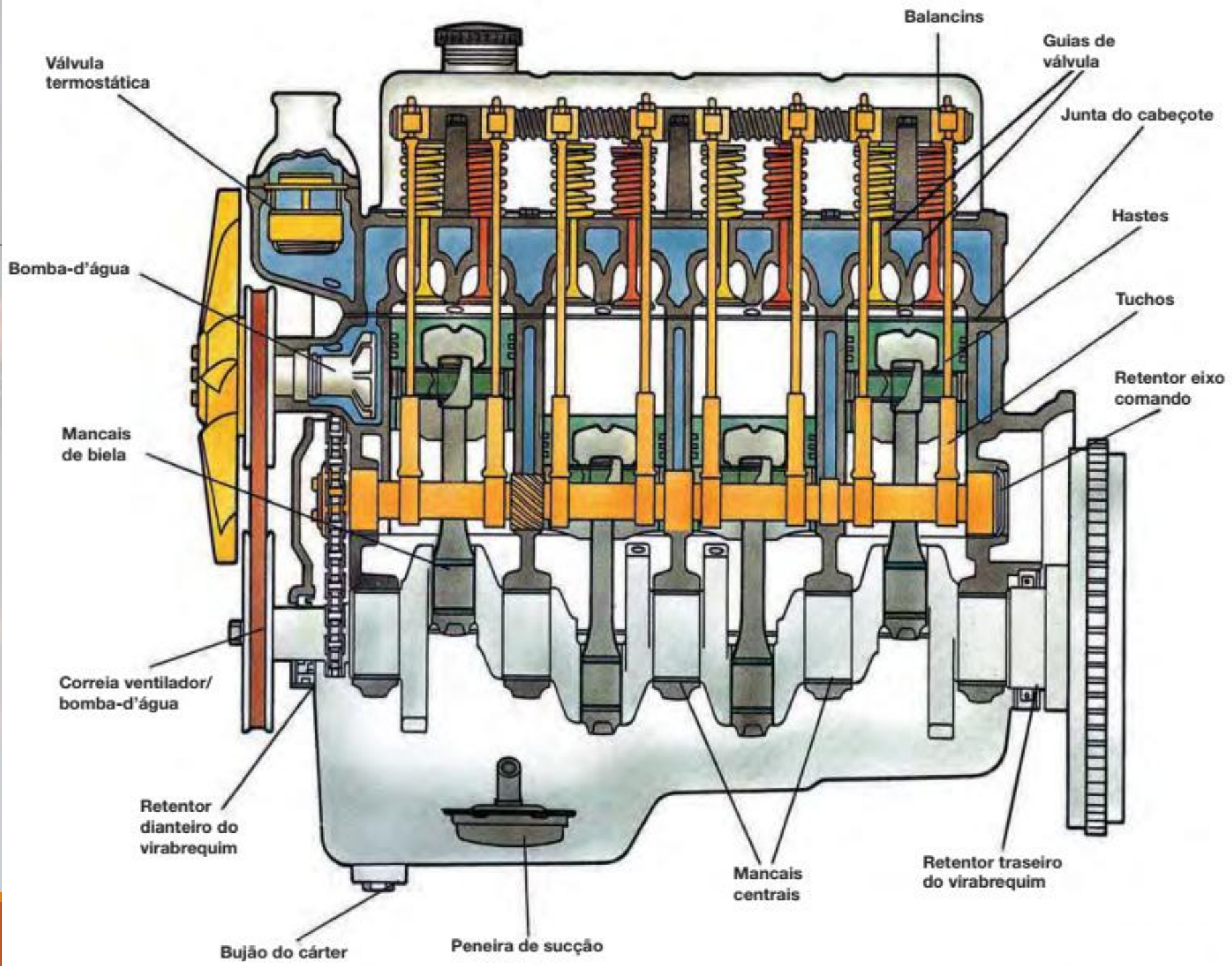
Nomenclatura

- Pode dividir os **componentes** básicos de um **MCI** em dois grupos:
 - Componentes **Móveis**:
 - Biela;
 - Pistão/Anel;
 - Virabrequim;
 - Eixo comando de válvulas;
 - Válvulas;
 - Conjunto de acionamento das válvulas;
 - Polias;
 - Bomba de óleo;
 - Bomba d'água;



Motores Alternativos

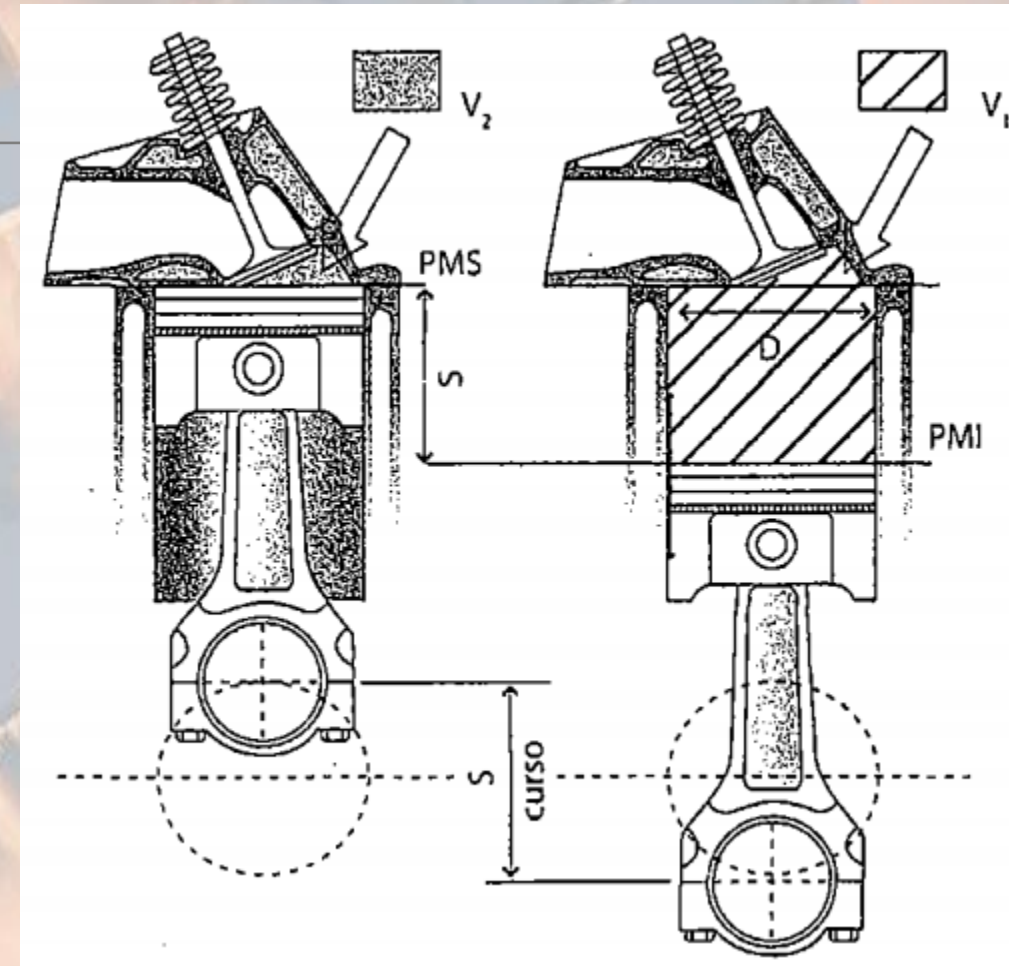
Nomenclatura



Motores Alternativos

Nomenclatura

- Quanto à **posição do pistão** no interior do cilindro, adota-se:
 - **PMS**: Ponto morto superior;
 - **PMI**: Ponto morte inferior.
- Também tem-se:
 - **S**: Curso do pistão;
 - **V_1** : Volume total;
 - **V_2** : Volume morto ou volume da câmara;
 - **D**: Diâmetro do cilindro;



Motores Alternativos

Nomenclatura

◦ Também tem-se:

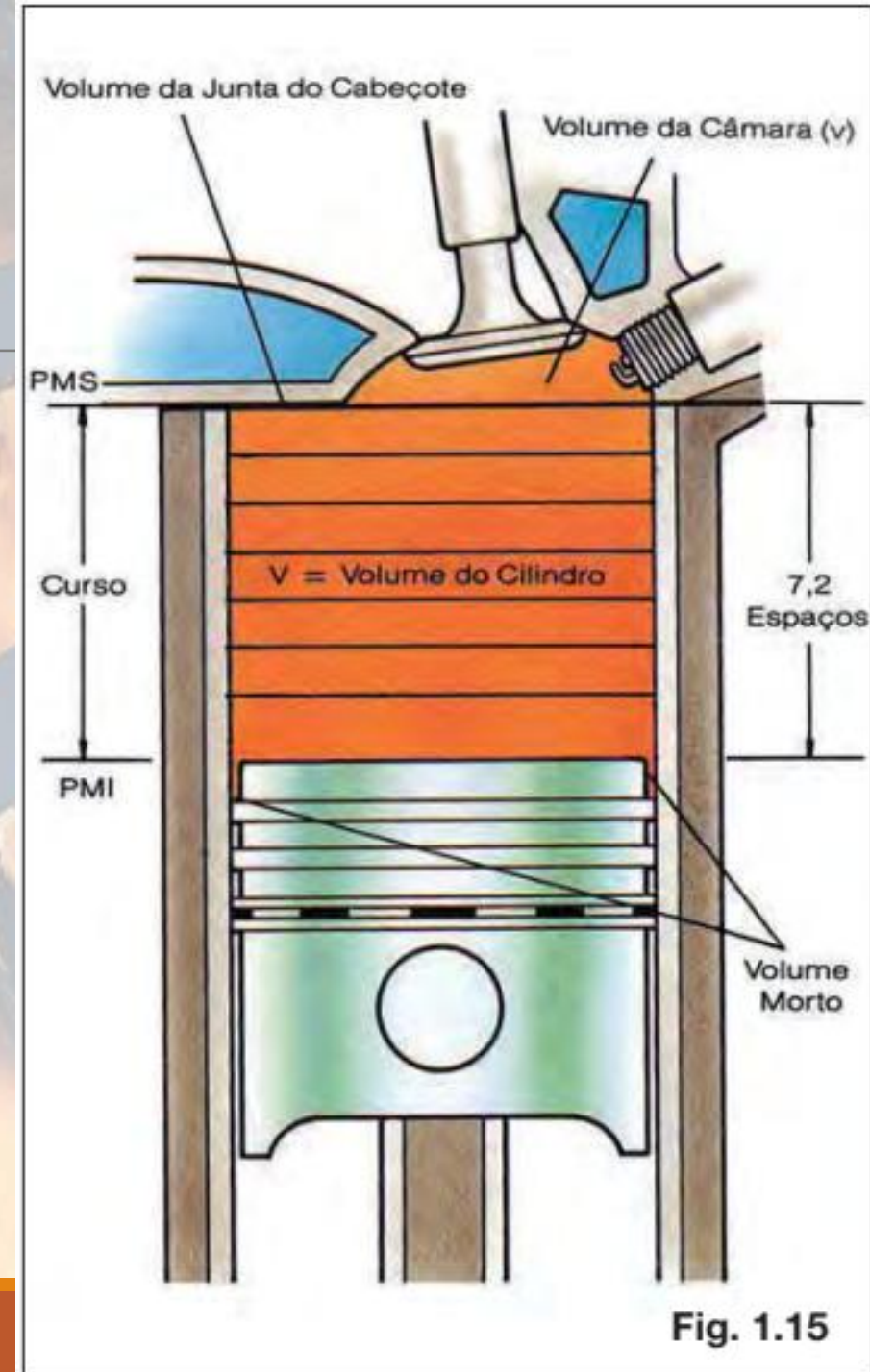
◦ V_{ud} : Cilindrada unitária, é o volume deslocado pelo pistão do PMI ao PMS;

$$V_{du} = V_1 - V_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} S$$

◦ z : número de cilindro do motor;

◦ V_d : Volume deslocado do motor ou cilindrada total.

$$V_d = V_{du} \cdot z = \frac{\pi \cdot D^2}{4} S \cdot z$$



Motores Alternativos

Nomenclatura

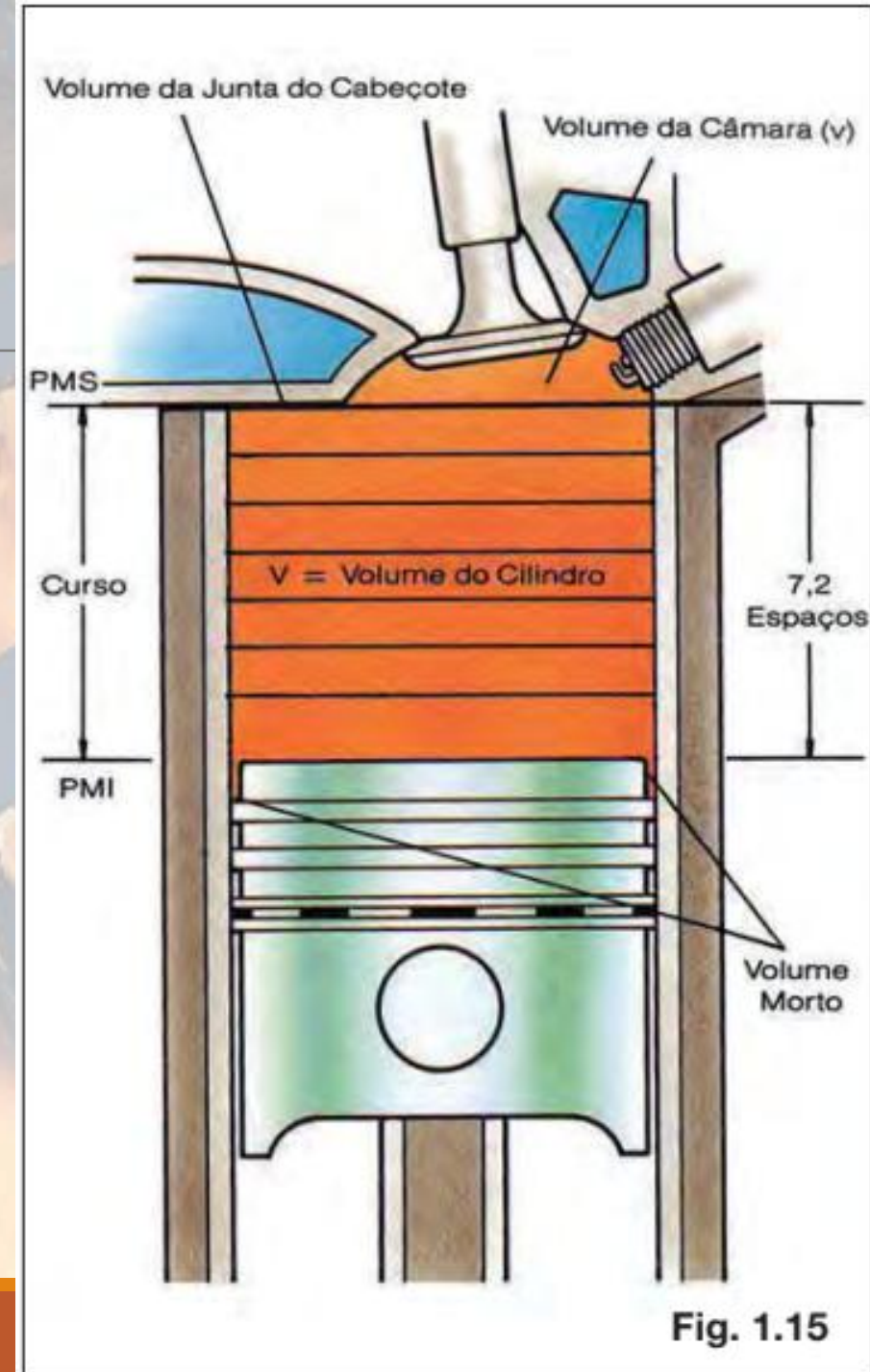
◦ Também tem-se:

◦ r_v : Relação volumétrica ou taxa de compressão .

$$r_v = \frac{V_1}{V_2}$$

$$V_{du} + V_2 = V_1 \Rightarrow V_{du} = V_1 - V_2$$

$$r_v = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{du} + V_2}{V_2} = \frac{V_{du}}{V_2} + 1$$



Motores Alternativos

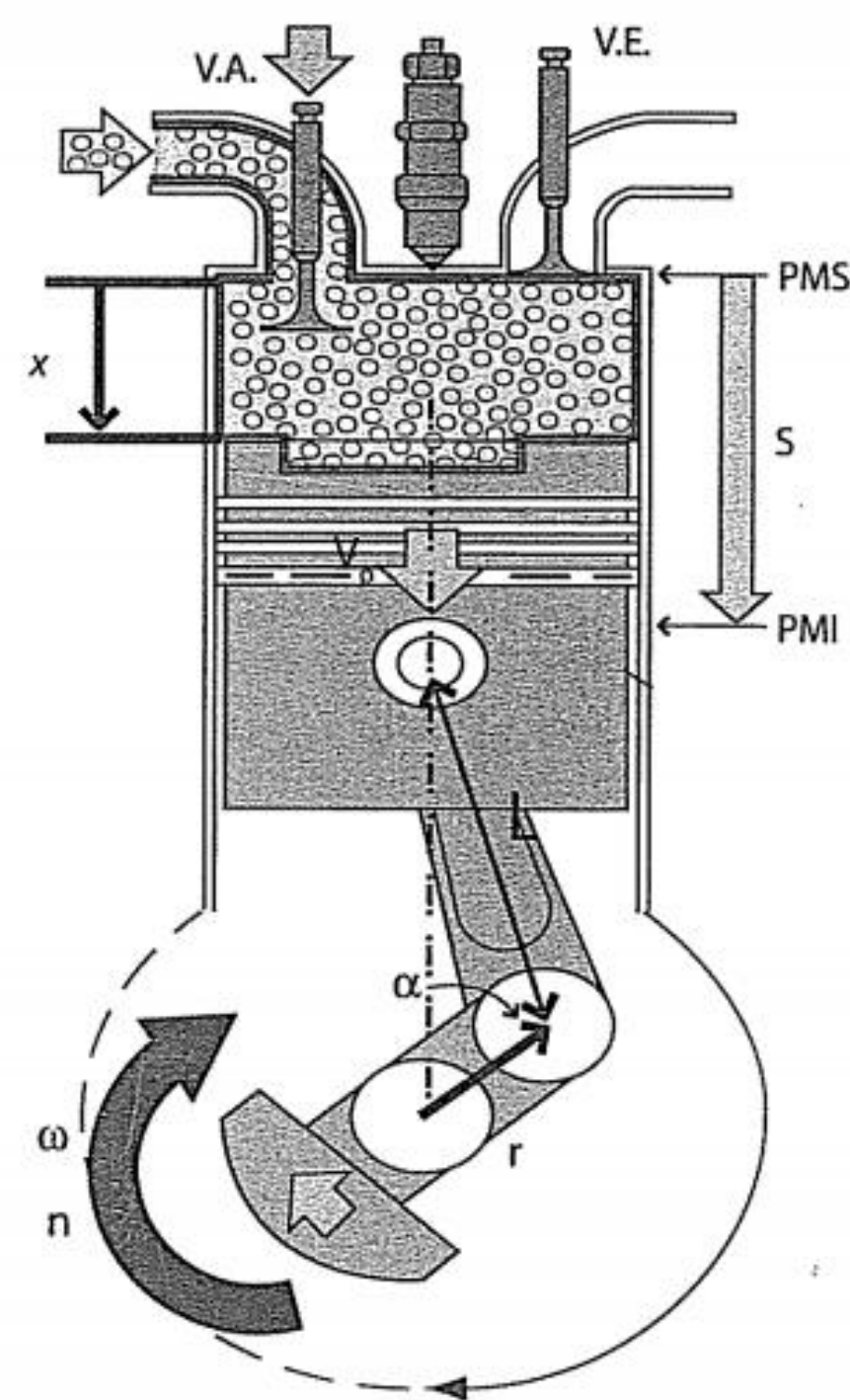
Nomenclatura

- Nomenclatura cinemática:
- **VE**: Válvula de escapamento;
- **VA**: Válvula de admissão;
- **r**: raio da manivela;
- **n**: frequência da árvore de manivelas;
- **ω** : velocidade angular da árvore de manivelas;
- **V_p** : velocidade média do pistão.

$$S = 2 \cdot r$$

$$\omega = 2\pi \cdot n$$

$$V_p = 2 \cdot S \cdot n$$

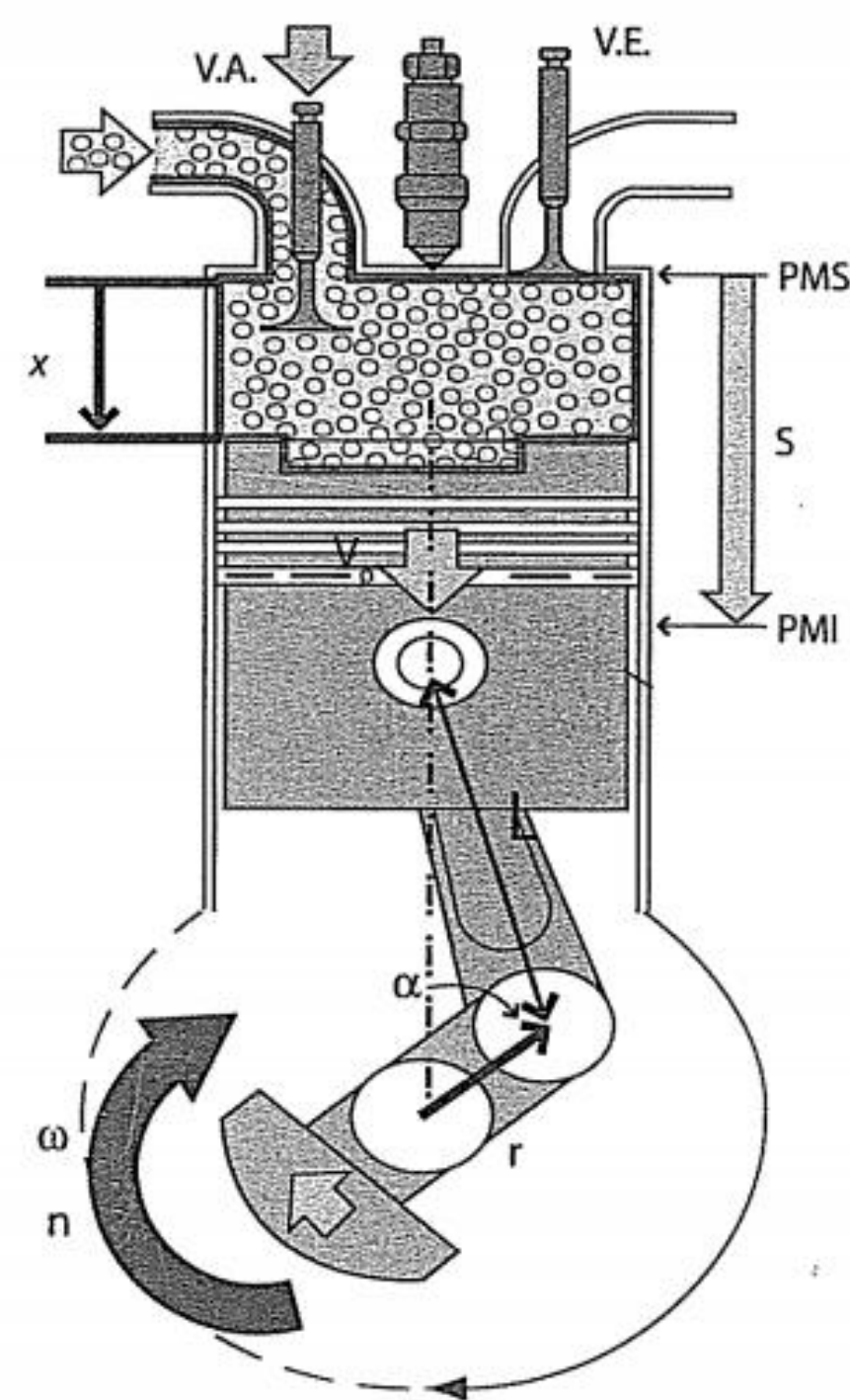


Motores Alternativos

Nomenclatura

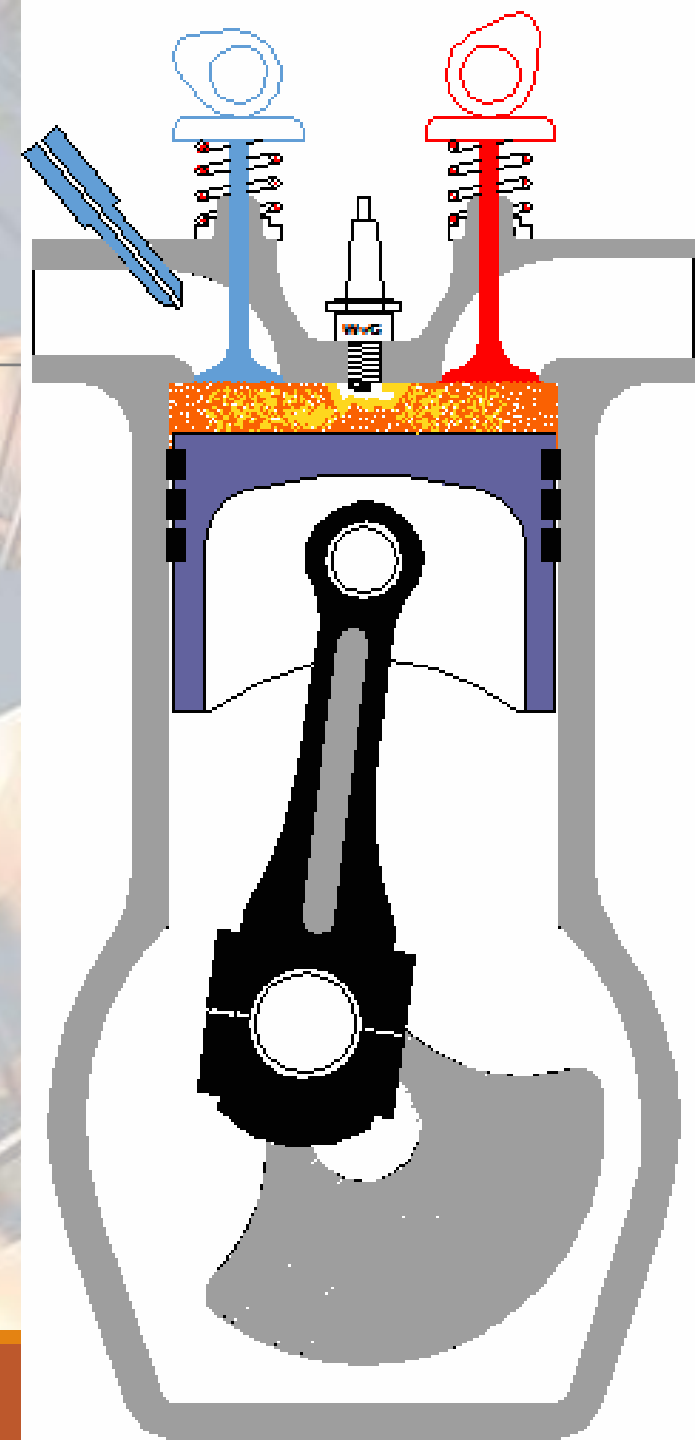
- Nomenclatura cinemática:
 - α : ângulo formado entre a manivela e um eixo vertical de referência;
 - L : comprimento da biela;
 - x : distância para o pistão atingir o PMS:

$$x = r (1 - \cos\alpha) + L (1 - \sqrt{1 - (\frac{r}{L})^2 \cdot \text{sen}^2\alpha})$$



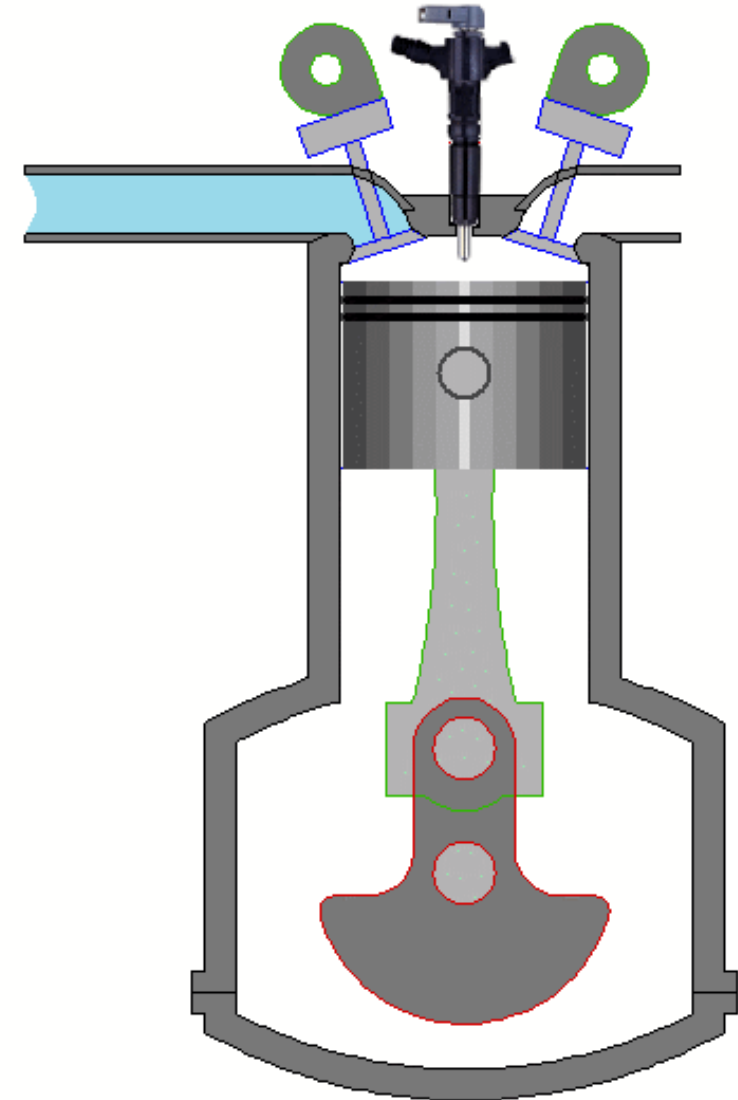
Classificação dos MCI Quando à Ignição

- **Quanto à ignição**, os motores alternativos são divididos em dois tipos fundamentais:
- **MIF** - Motores de Ignição por faísca ou Otto: Nesses motores, a mistura combustível-ar é admitida, previamente dosada ou formada no interior dos cilindro (quando há injeção direta), e inflamada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos de uma vela.



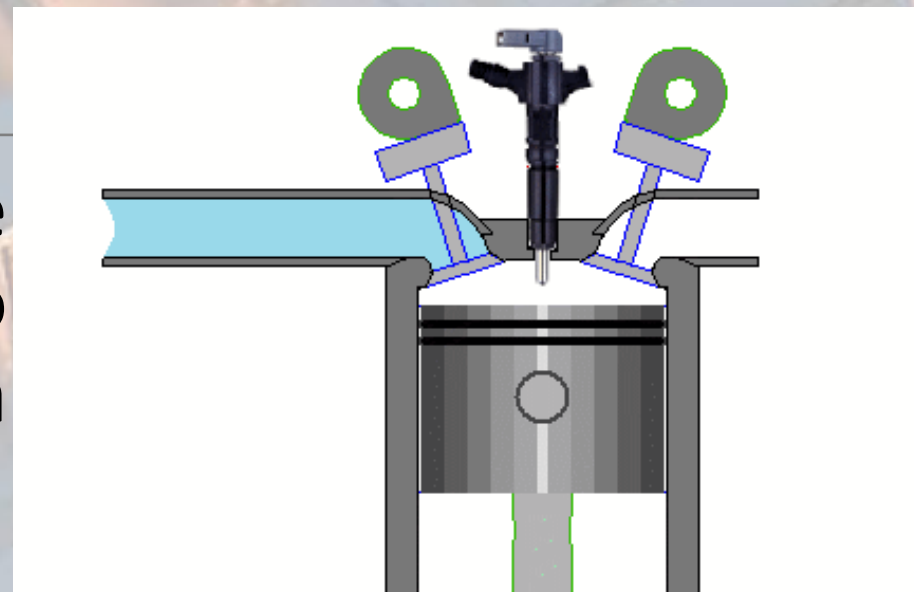
Classificação dos MCI Quando à Ignição

- **Quanto à ignição**, os motores alternativos são divididos em dois tipos fundamentais:
 - **MIE** – Motores de ignição espontânea ou Diesel: Nesses motores, o pistão comprime somente ar, até que este atinja uma temperatura suficientemente elevada. Quando o pistão aproxima-se do PMS, injeta-se o combustível que reage espontaneamente com o oxigênio presente no ar quente, sem a necessidade de uma faísca.



Classificação dos MCI Quando à Ignição

- A temperatura do ar necessária para que aconteça a reação espontânea do combustível denomina-se “temperatura de autoignição (TAI)”



Temperatura de Autoignição – TAI (°C)

Diesel	Etanol Hidratado	Metanol	Gasolina E22
250	420	478	400

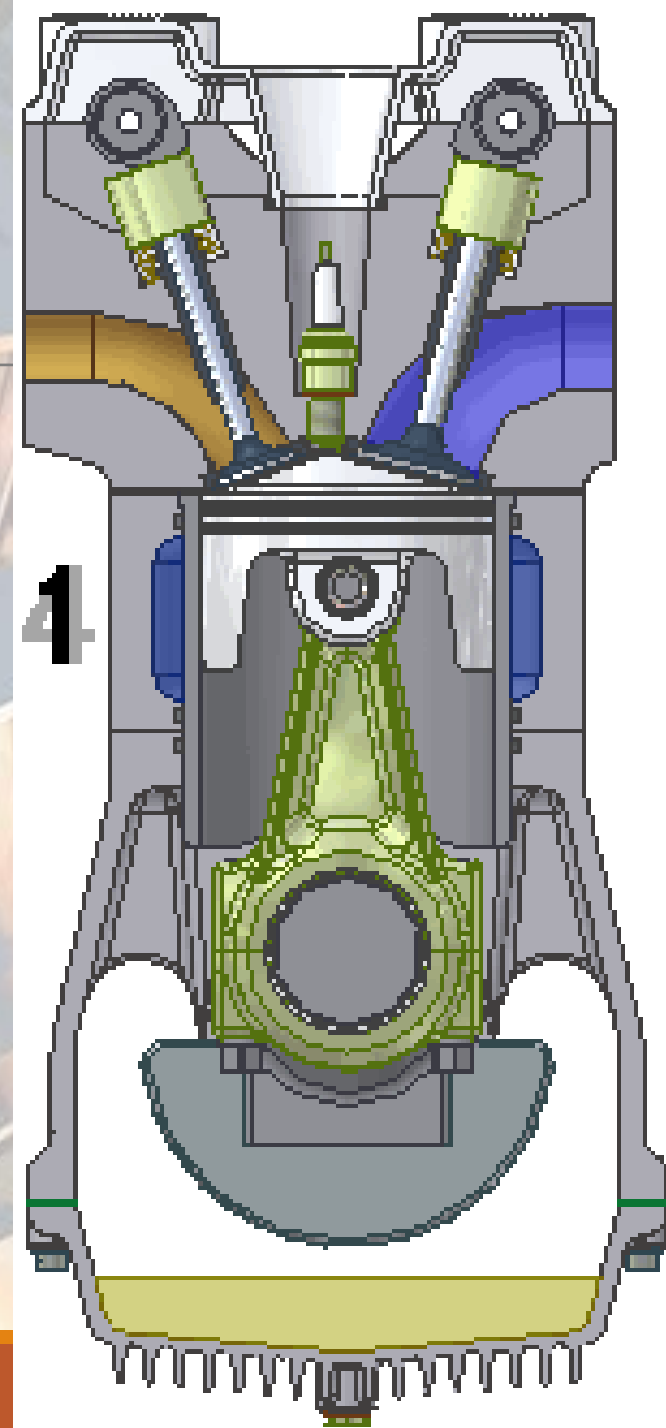
Relação ou Taxa de compressão – r_v

MIF		MIE
Etanol Hidratado	Gasolina E22	Diesel
10,0:1 até 14,0:1	8,5:1 até 13,0:1	15,0:1 até 24,0:1

Classificação dos MCI

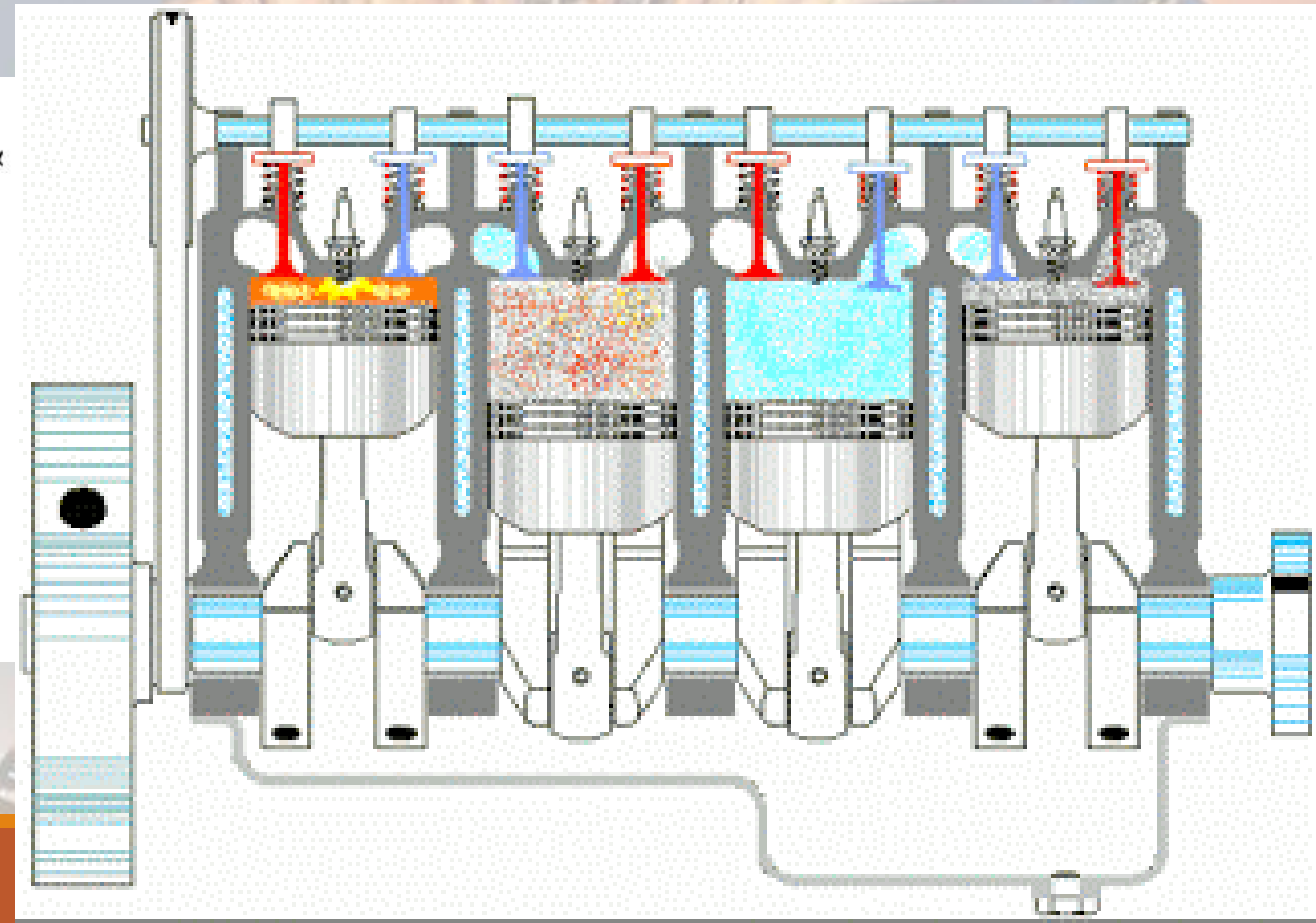
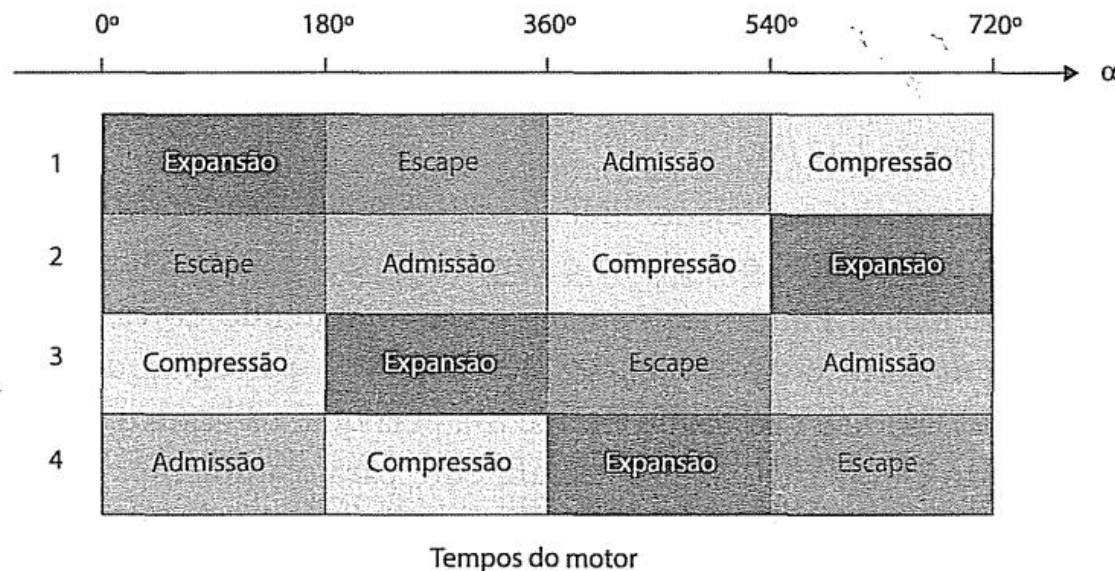
Quando ao Número de Tempos

- Quanto ao **número de tempos**, os motores alternativos são divididos em dois grupos:
 - **4 Tempos:**
 - Admissão;
 - Compressão;
 - Expansão;
 - Escape.



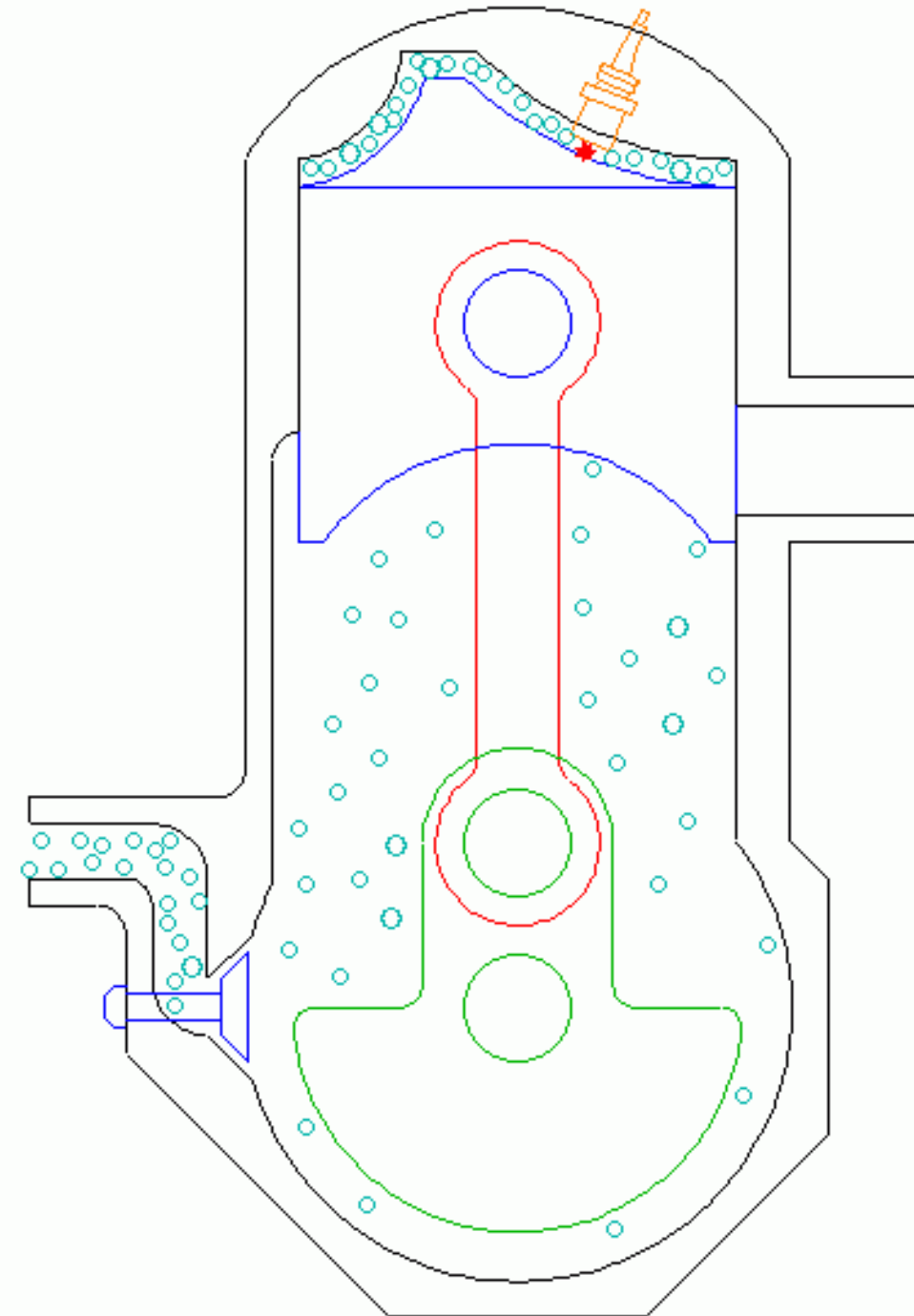
Classificação dos MCI Quando ao Número de Tempos

- A figura apresenta para um motor de quatro cilindros, os tempos ocorrendo simultaneamente.



Classificação dos MCI Quando ao Número de Tempos

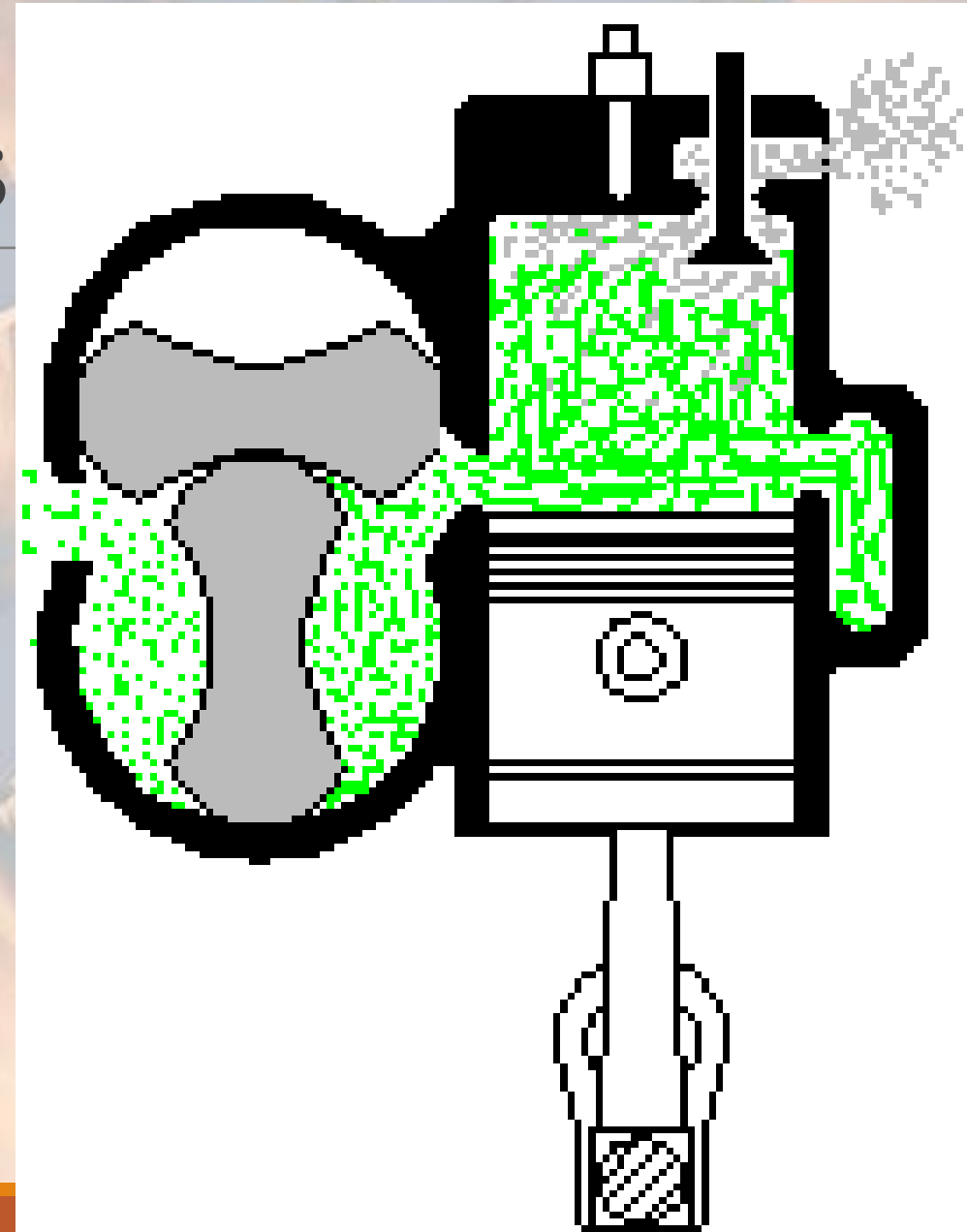
- Quanto ao **número de tempos**, os motores alternativos são divididos em dois grupos:
 - **2 Tempos:**
 - Admissão e compressão;
 - Expansão e escape;



Classificação dos MCI

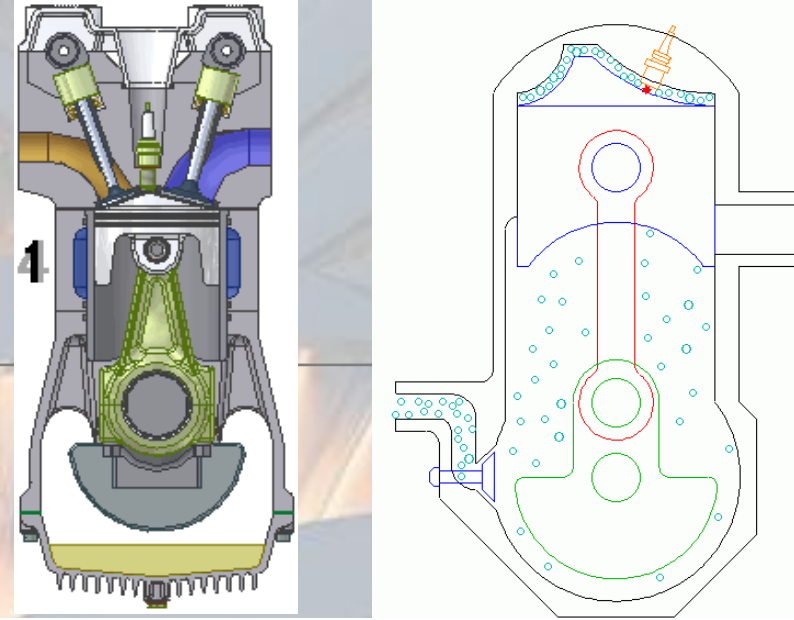
Quando ao Número de Tempos

- Quanto ao **número de tempos**, os motores alternativos são divididos em dois grupos:
 - **2 Tempos:**
 - Admissão e compressão;
 - Expansão e escape;



Classificação dos MCI Quando ao Número de Tempos

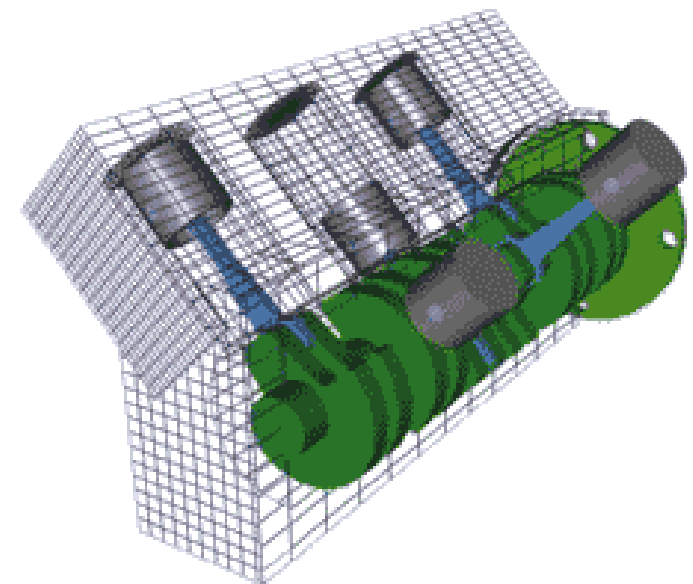
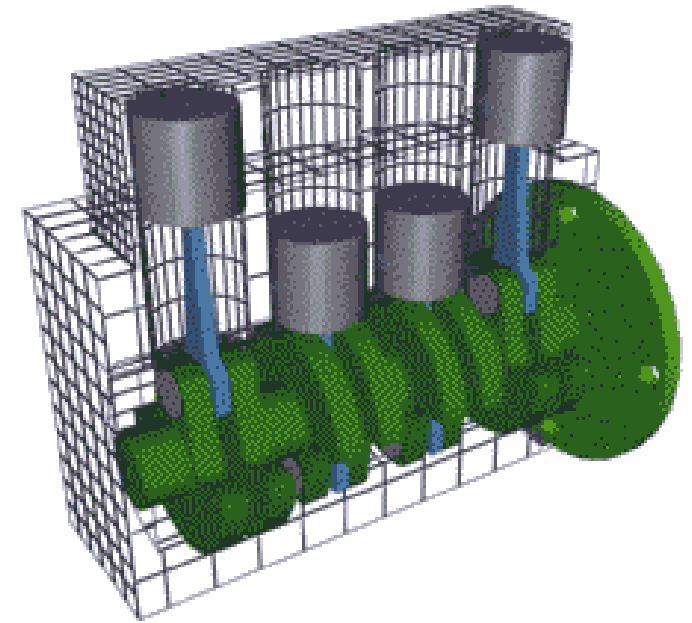
- Diferenças fundamentais entre motores 2T e 4T:



Diferenças	4T	2T
Tempos x Ciclo Útil	2 voltas manivela	1 volta manivela
Fator de tempos	$\kappa=2$	$\kappa=1$
Sistema mecânico	Mais complexo	Mais simples Ausência de: Válvulas Eixo comando
Alimentação	Boa	Ruim Perda de mistura no escape Presença de lubrificante
Lubrificação	Boa	Ruim Presença de combustível

Classificação dos MCI Quanto à Disposição dos Pistões

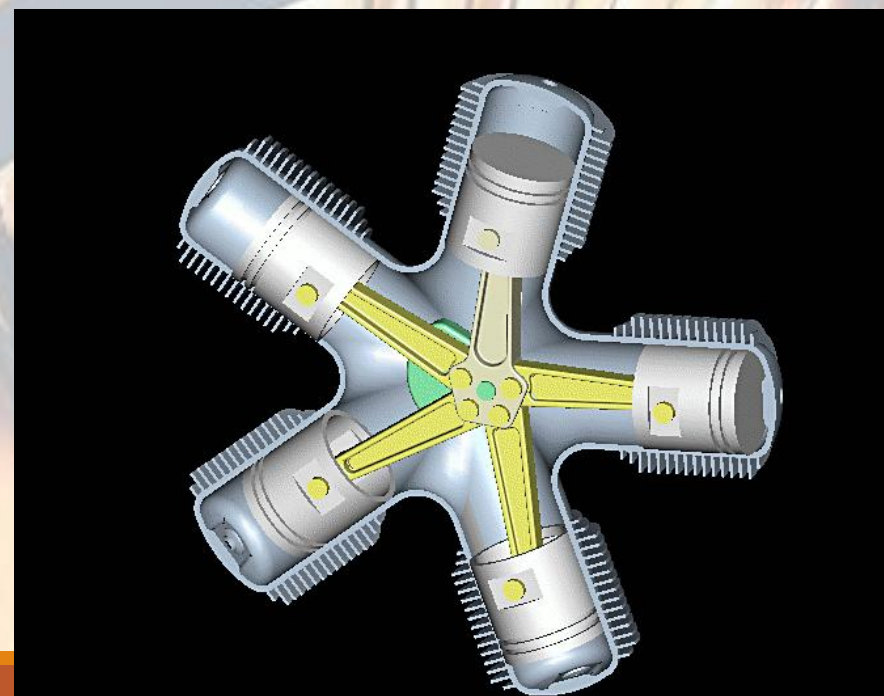
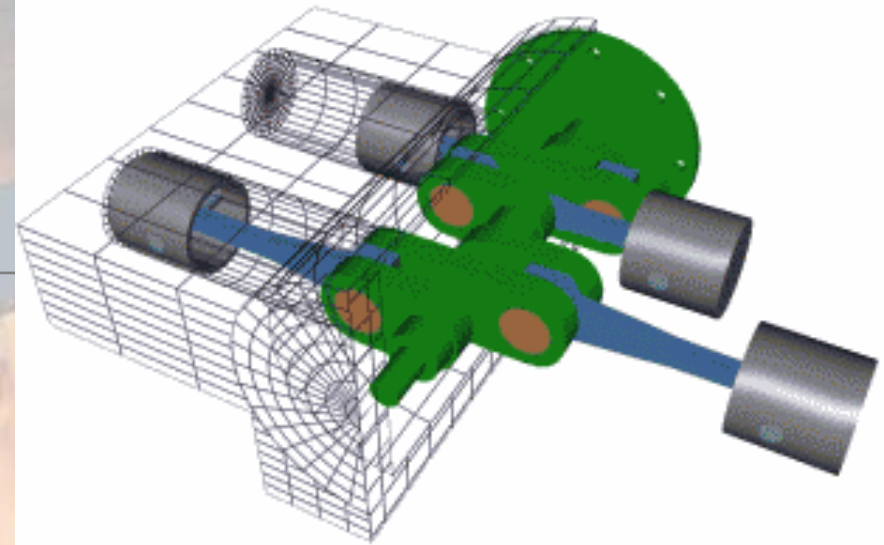
- Esta classificação está relacionada com a disposição dos pistões no bloco do motor. Existem quatro disposições típicas:
- Cilindros em linha;
- Cilindros em V;
- Cilindros opostos ou boxer;
- Cilindros radiais.



Classificação dos MCI

Quanto à Disposição dos Pistões

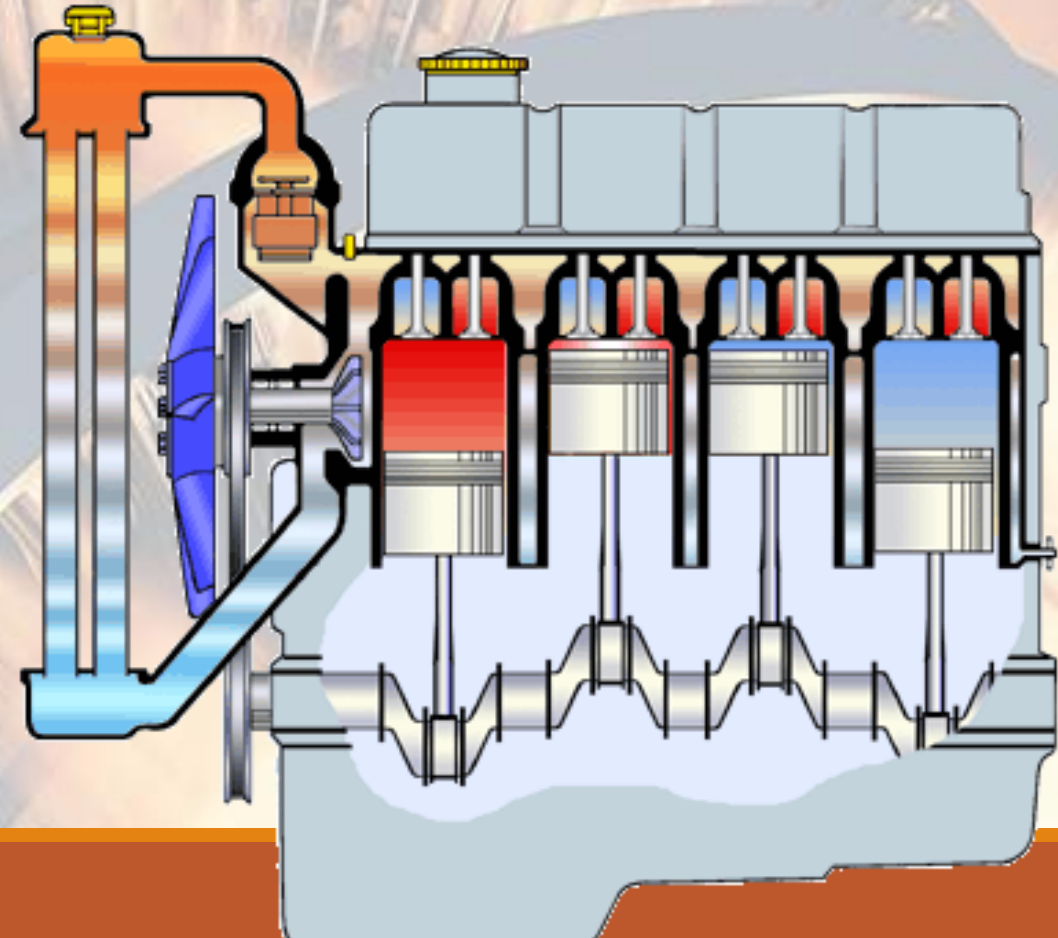
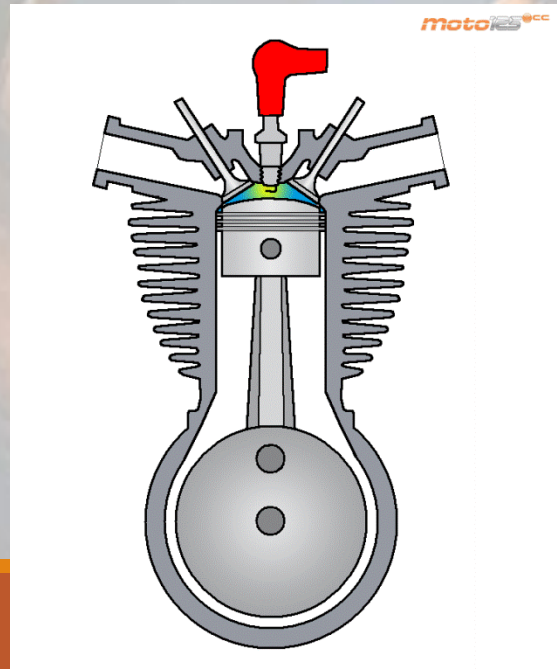
- Esta classificação está relacionada com a disposição dos pistões no bloco do motor. Existem quatro disposições típicas:
- Cilindros em linha;
- Cilindros em V;
- Cilindros opostos ou boxer;
- Cilindros radiais.



Classificação dos MCI

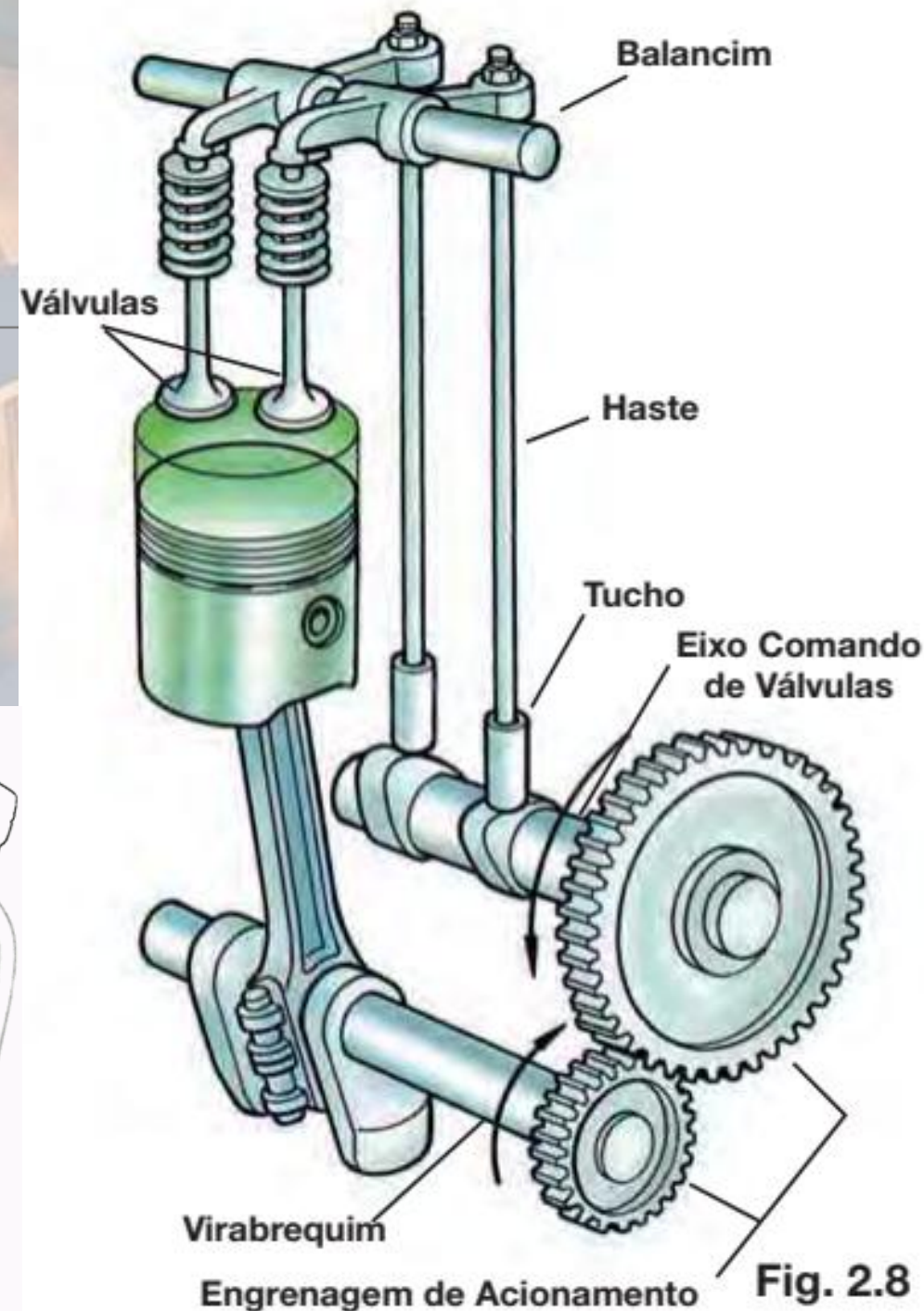
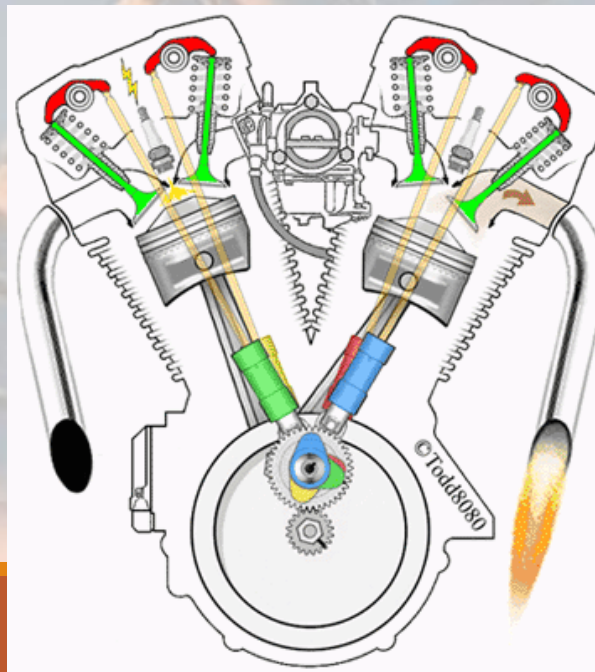
Quanto ao Sistema de arrefecimento

- O **arrefecimento** é comumente realizado de duas formas diferentes:
- Sistema arrefecido a **ar**;
- Sistema arrefecido a **água**.



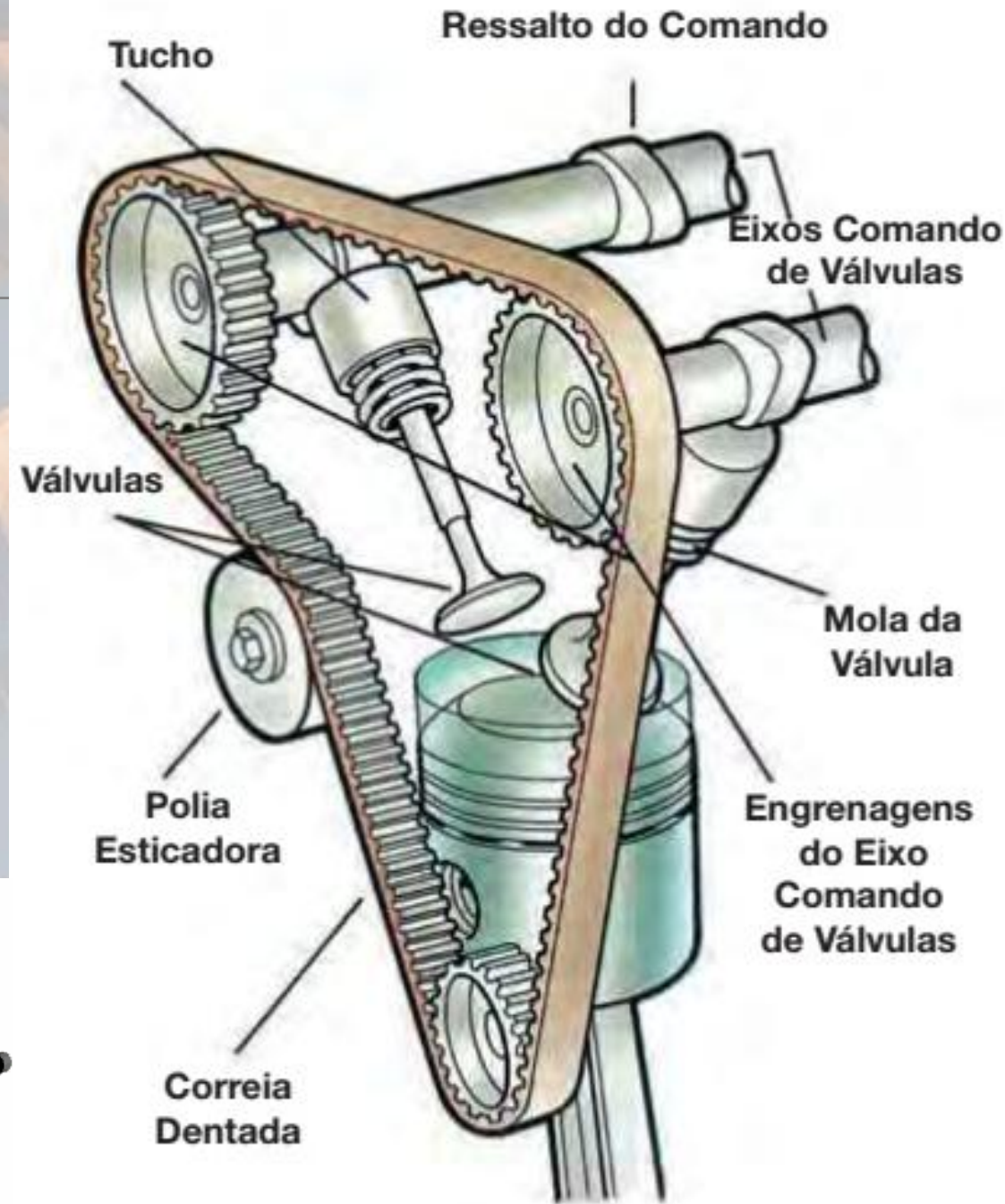
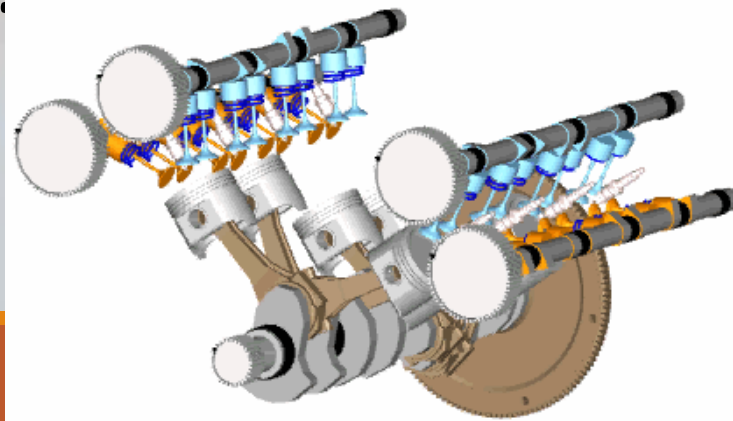
Classificação dos MCI Quanto às Válvulas

- A abertura e fechamento das válvulas são usualmente realizados pelo **eixo comando de válvulas**, que podem ser classificados quantos ao seu posicionamento:
 - **Abaixo das válvulas;**
 - **Acima das Válvulas.**



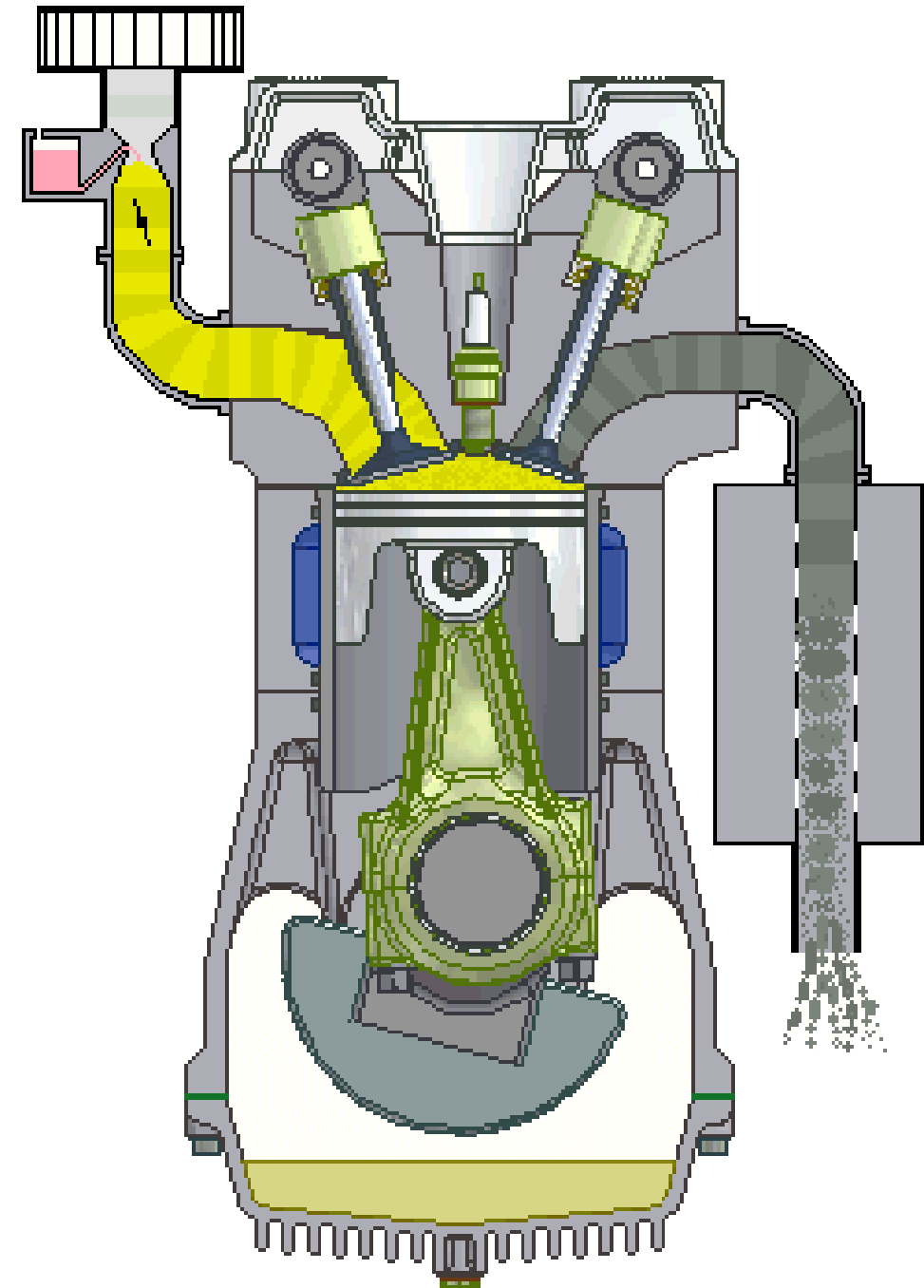
Classificação dos MCI Quanto às Válvulas

- A abertura e fechamento das válvulas são usualmente realizados pelo **eixo comando de válvulas**, que podem ser classificados quantos ao seu posicionamento:
 - **Abaixo das válvulas;**
 - **Acima das Válvulas.**



Classificação dos MCI Quanto à Alimentação de Ar

- O **fluxo de ar** para o interior do cilindro no tempo de admissão se dá em função da geração de um gradiente de pressão entre o coletor de admissão e o cilindro. Em relação a **admissão de ar** os MCI podem ser classificados em:
 - **Aspirado:** Quando o gradiente de pressão é ocasionado unicamente pelo deslocamento do pistão do PMS para o PMI, o que gera uma depressão no interior do cilindro.



Classificação dos MCI Quanto à Alimentação de Ar

- Em relação a **admissão de ar** os MCI podem ser classificados em:
 - **Sobrealimentados:** Com a finalidade de aumentar esse gradiente e, conseqüentemente, a massa de ar admitida pelo motor, é possível usar dispositivos como o turbocompressor (este utiliza gases de escapamento para gerar trabalho numa turbina e transferi-lo para o compressor).



Classificação dos MCI

Quanto à relação Diâmetro-Curso

- Outra forma de classificar os MCI é por meio da relação diâmetro-curso (D/S):
 - Motor **quadrado**: quando $D=S$;
 - Motor **subquadrado**: quando $D<S$;
 - Motor **superquadrado**: quando $D>S$;

Motor	V_d (cm^3)	D (mm)	S (mm)	Potência@Rotação (kW@rpm)	Torque@Rotação (Nm@rpm)	Classificação
VW 1.6	1.596	81,0	77,4	66@5.600	132@2.600	Superquadrado
VW 2.0	1.984	82,5	92,8	92@5.800	191@3.000	Subquadrado
Fiat 1.6	1.590	86,4	67,4	62@5.700	129@3.250	Superquadrado
GM 2.5	2.471	101,6	76,2	60@4.400	168@2.500	Superquadrado
Ford 1.8	1.781	81,0	86,4	68@5.200	152@2.800	Subquadrado
GM 2.0	1.988	86,0	86,0	81@5.600	170@3.000	Quadrado
VW 1.8	1.781	81,0	86,4	71@5.200	153@3.400	Subquadrado
Fiat 1.5	1.498	86,4	63,9	60@5.200	125@3.500	Superquadrado
Ford 1.6	1.555	77,0	83,5	54@5.200	123@2.400	Subquadrado
GM 1.8	1.796	84,8	79,5	95@5.600	148@3.000	Superquadrado

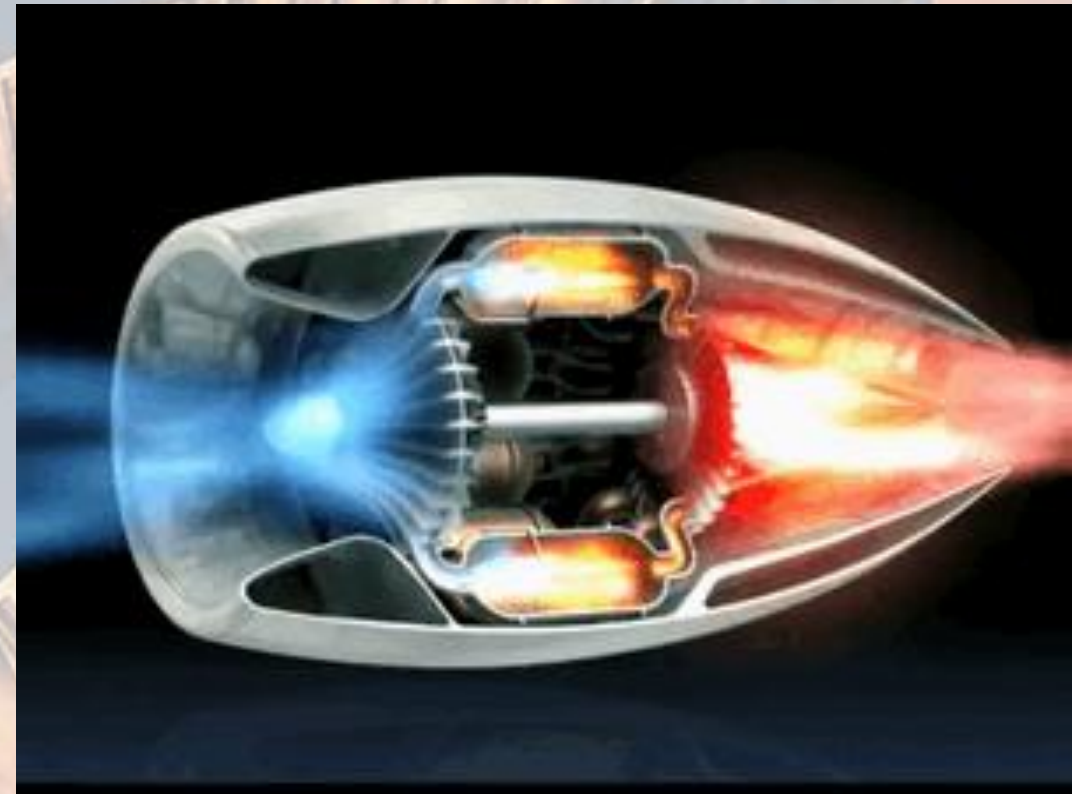
Classificação dos MCI Quanto à rotação

- **Quanto a rotação**, os MCI são classificados em:
 - **Rápidos**: $n > 1500\text{rpm}$;
 - **Médios**: $600 < n < 1500\text{rpm}$;
 - **Lentos**: $n < 600\text{ rpm}$.

Motores Rotativos

Turbinas a Gás

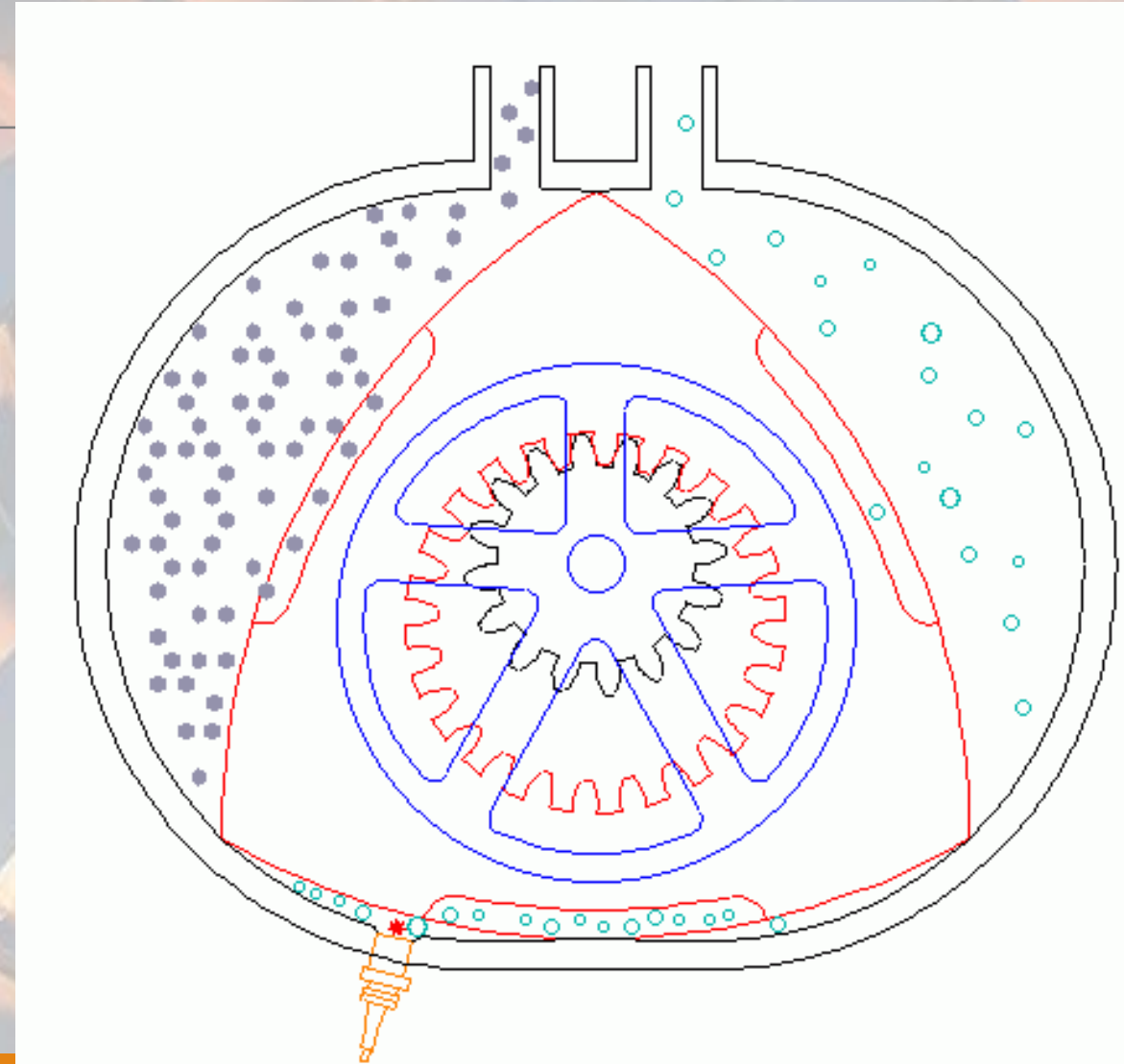
- Nesses motores, o trabalho é obtido diretamente de um movimento de rotação.
- A turbina a gás é um motor rotativo de combustão interna, uma vez que utiliza os gases produzidos por uma combustão para o seu acionamento.



Motores Rotativos

Motor Wankel

- O motor Wankel é construído fundamentalmente de um motor, aproximadamente triangular e de um estator, cujo formato geométrico é gerado pela posição dos três vértices do rotor durante o seu movimento.



Motores Rotativos

Motor Wankel

- O motor Wankel é construído fundamentalmente de um motor, aproximadamente triangular e de um estator, cujo formato geométrico é gerado pela posição dos três vértices do rotor durante o seu movimento.

