



Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Joinville

Simulação numérica de MCI usando AVL-BOOST

UNIDADE 1 – INTRODUÇÃO



Prof. Leonel R. Cancino, Dr. Eng.

l.r.cancino@ufsc.br



Engenharia Automotiva
CTJ - Centro Tecnológico de Joinville

Ementa

- ✓ Introdução
- ✓ Conceitos fundamentais em motores de combustão interna
- ✓ Programas para simulação de MCI
- ✓ Modelagem de MCI usando AVL-BOOST
- ✓ Simulações numéricas usando AVL-BOOST

Conteúdo programático

UNIDADE 1 – Introdução

- 1.1 – Introdução – componentes principais de MCI.
- 1.2 – Funcionamento dos motores de ignição por faísca elétrica.
- 1.3 – Funcionamento dos motores de ignição por compressão.

Motores de combustão interna

1. Definição, funcionamento.





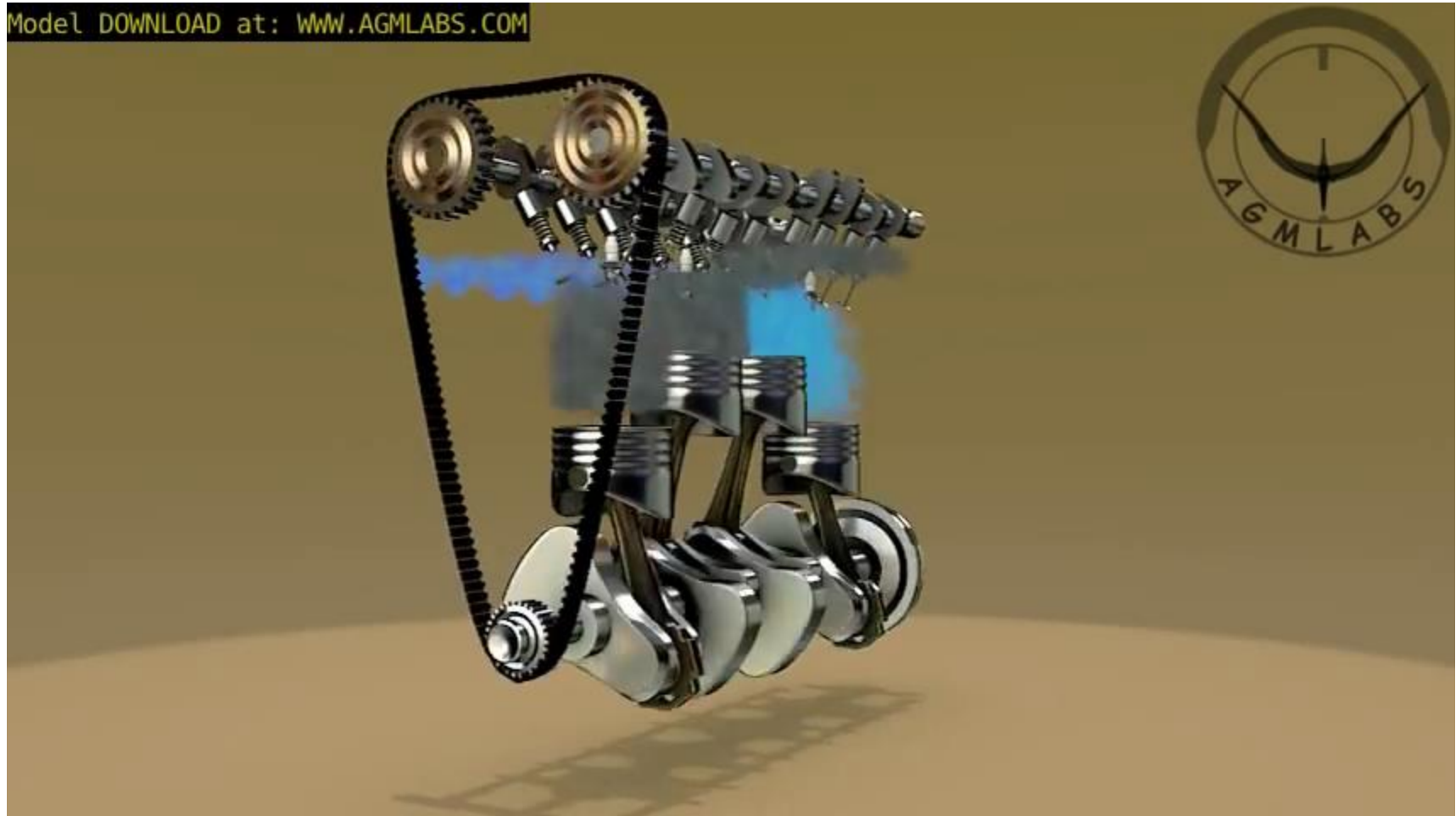
Motores de combustão interna

1. Definição, funcionamento

- O motor de combustão interna é uma **máquina térmica** que consegue transformar energia química em energia mecânica.
- A energia química é usualmente liberada em um processo de **COMBUSTÃO**, o qual envolve o processo de reação química com posterior liberação de calor (gases produtos de combustão em alta temperatura e pressão).
- Estes gases em alta temperatura e pressão sofrem processos de expansão e resfriamento
- A energia química “transformada” é então recolhida em forma de energia mecânica, por exemplo, na rotação de um eixo, via um conjunto de componentes mecânicos adaptados para tal fim.

Motores de combustão interna

1. Definição, funcionamento – Motor a Gasolina

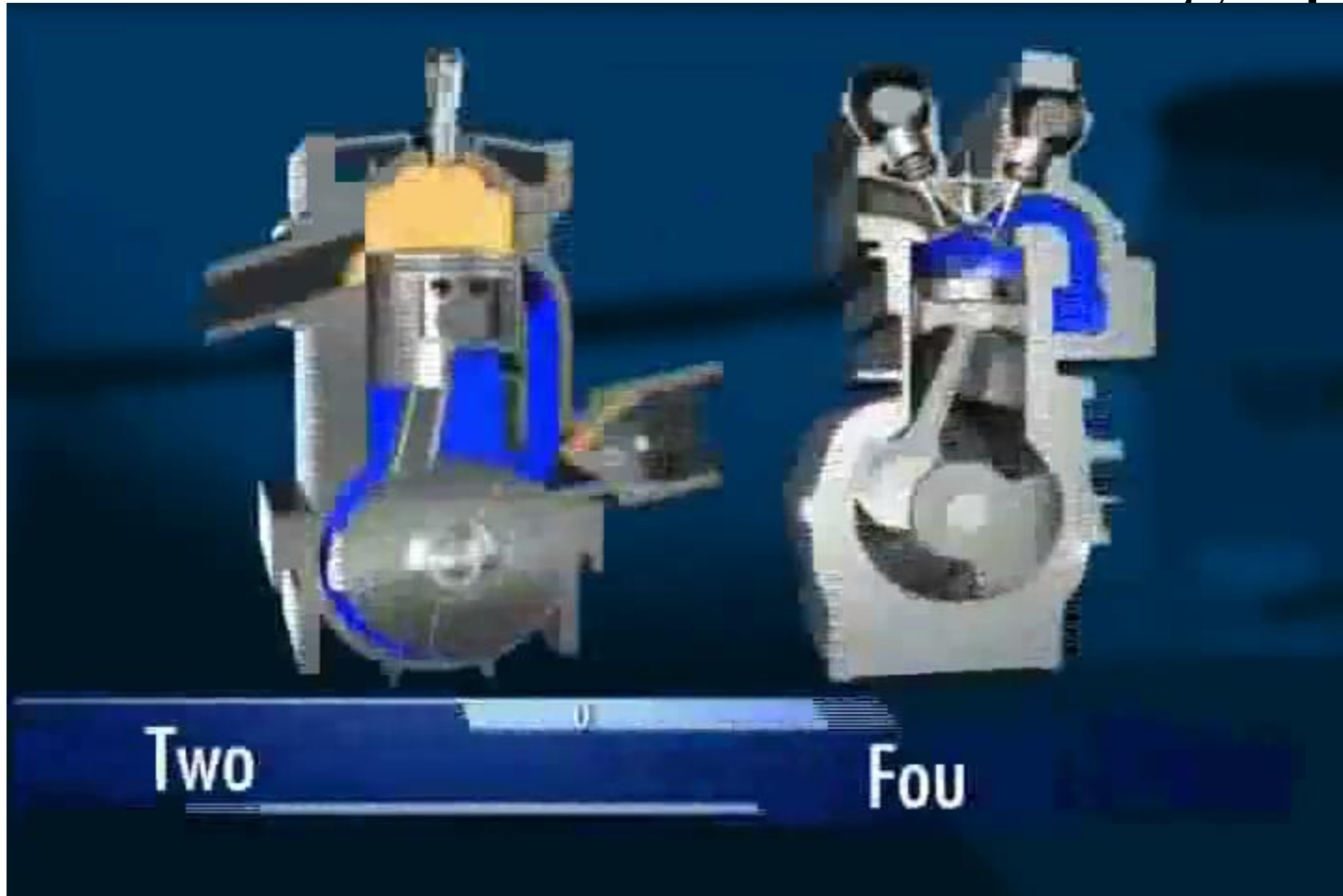


Introdução



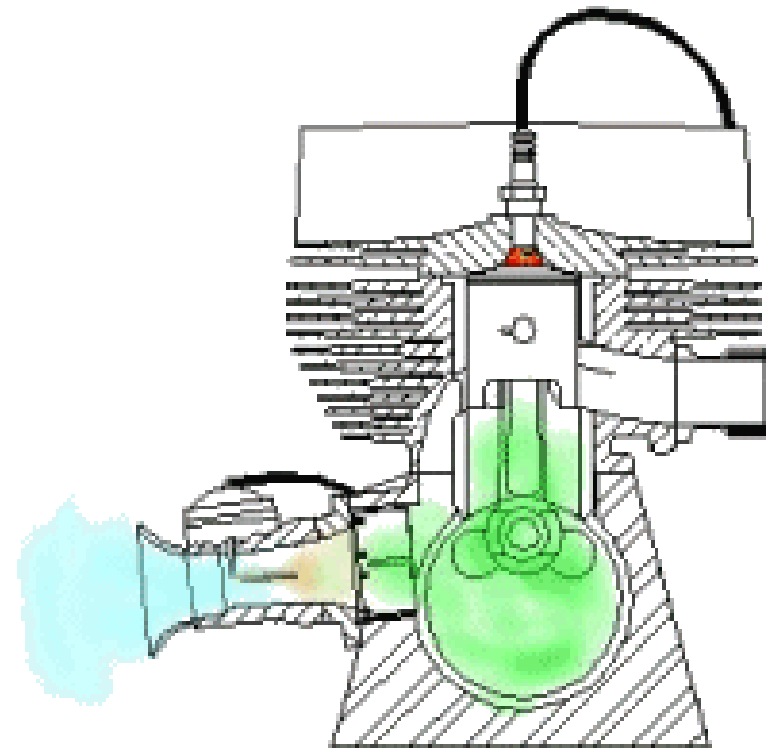
Motores alternativos

1. São basicamente divididos em dois grupos:



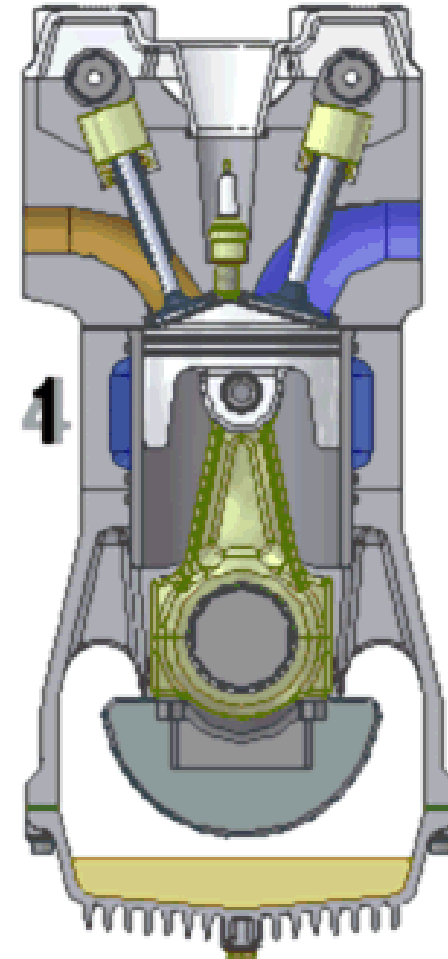
Motores alternativos – 2T

1. Primeiro tempo
 - ✓ Curso de admissão e compressão
2. Segundo tempo
 - ✓ Curso de combustão / expansão e exaustão



Motores alternativos – 4T

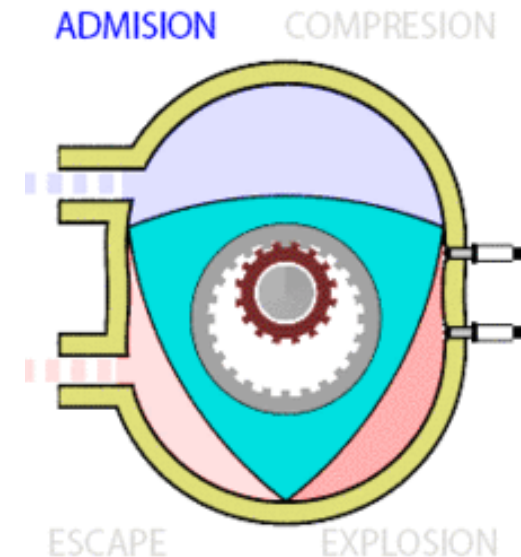
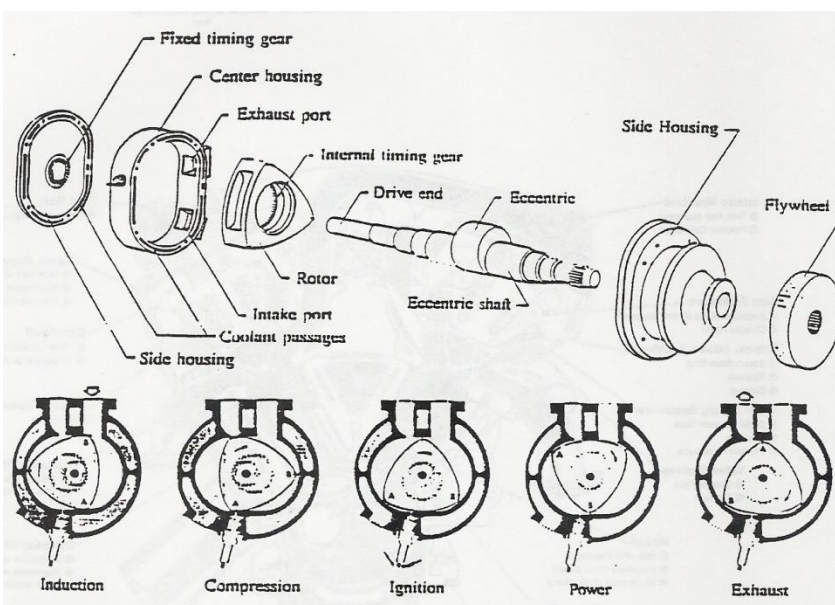
1. Primeiro tempo
 - ✓ Curso de admissão
2. Segundo tempo
 - ✓ Curso de compressão
3. Terceiro tempo
 - ✓ Curso de combustão/expansão
4. Quarto tempo
 - ✓ Curso de exaustão



Motores rotativos

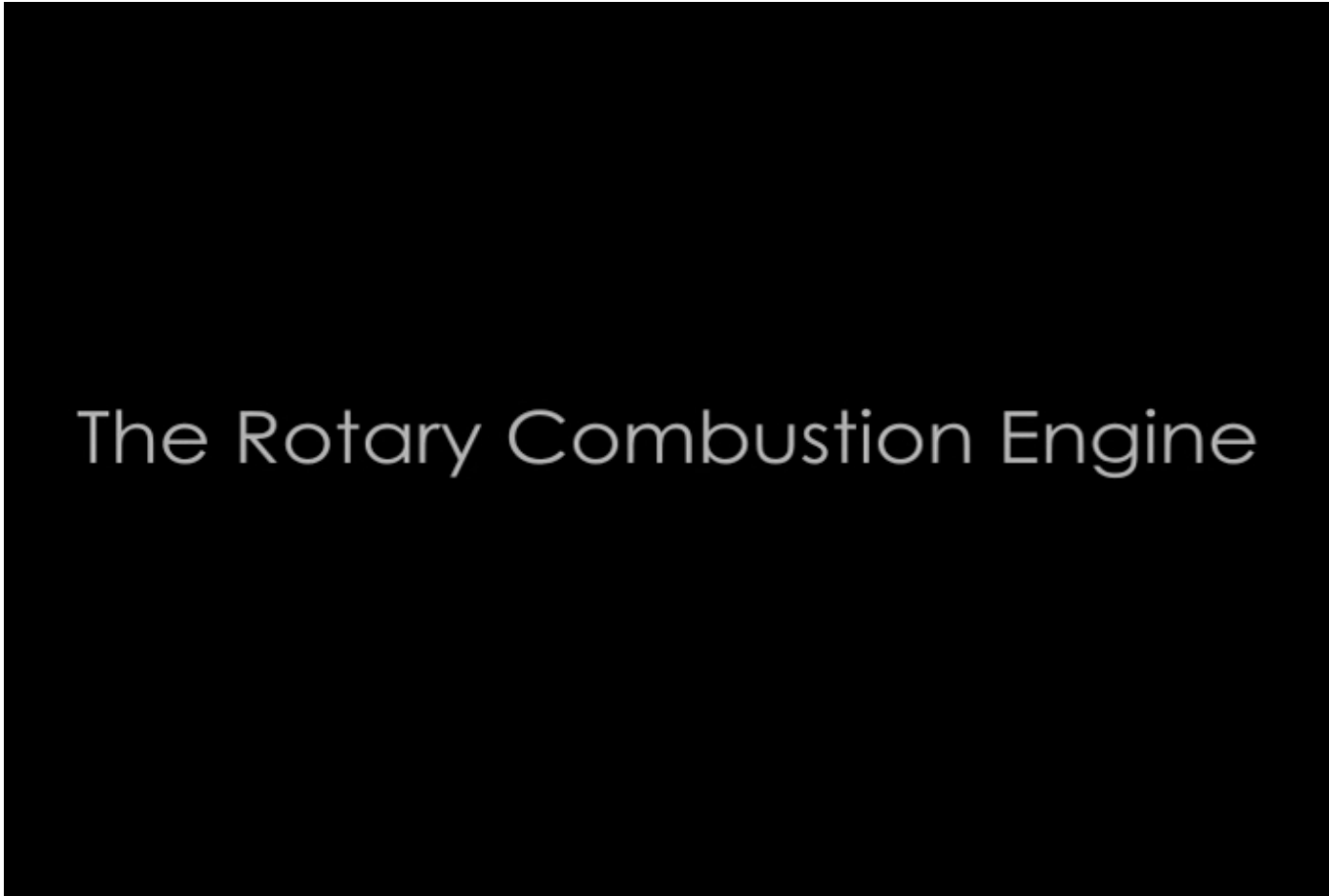
1. Motor Wankel

- ✓ O motor Wankel, consta apenas de cilindro, de duas partes rotativas, árvore com respectivo excêntrico, volantes, massas de compensação e o pistão rotativo, que gira engrenado a um pinhão fixo.



Motores rotativos

1. Motor Wankel



The Rotary Combustion Engine

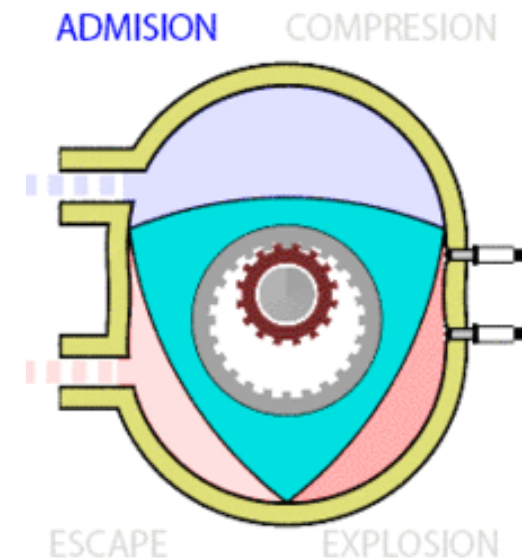
Motores rotativos - Wankel

❖ Vantagens

- ✓ Menos peças móveis: maior confiabilidade
- ✓ Rotação direta sobre o eixo
- ✓ Menor vibração: menos peças móveis (biela, volante)
- ✓ Transmissão de potência mais suave
- ✓ Elevada rotação do eixo
- ✓ Peso menor em relação à alternativos

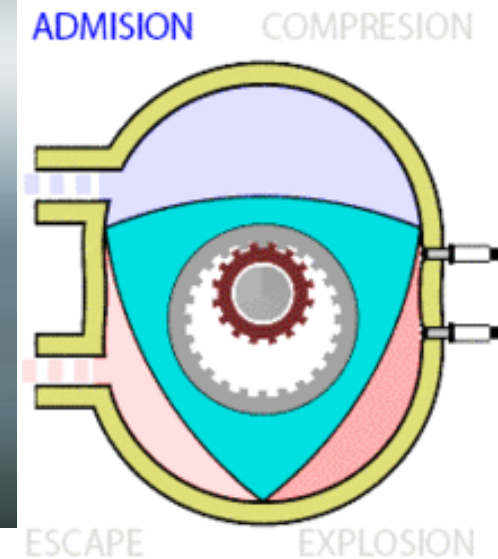
❖ Desvantagens

- Emissão de poluentes alta
- Alto consumo de combustível
- Problemas de estanqueidade
- Custo de manutenção elevado



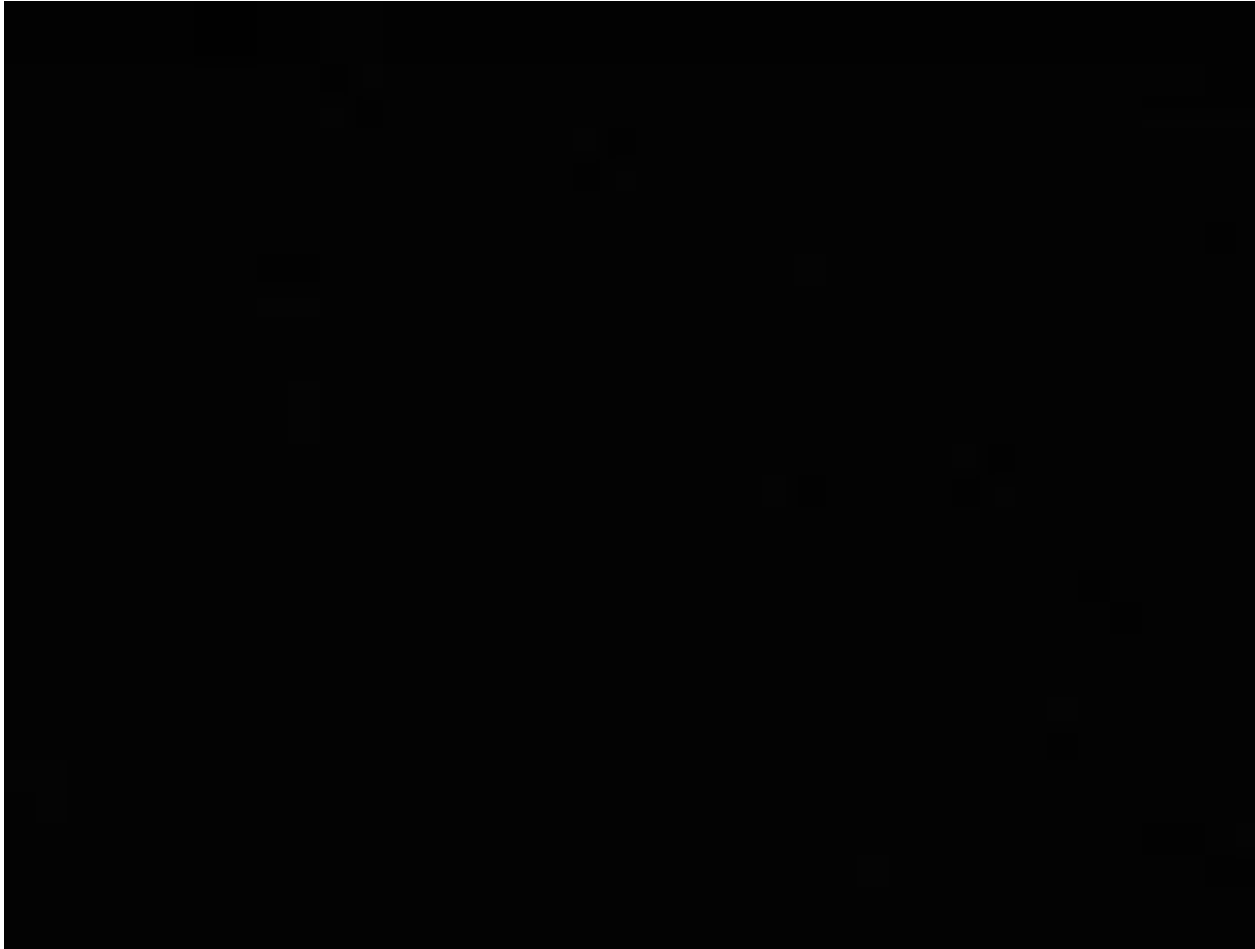
Motores rotativos - Wankel

- ❖ Mazda RX8
- ❖ 9000 rpm, 238 hp



Motores rotativos

1. Motor Wankel - Mazda RX8



Componentes básicos de um MCI

BMW – M3 V8

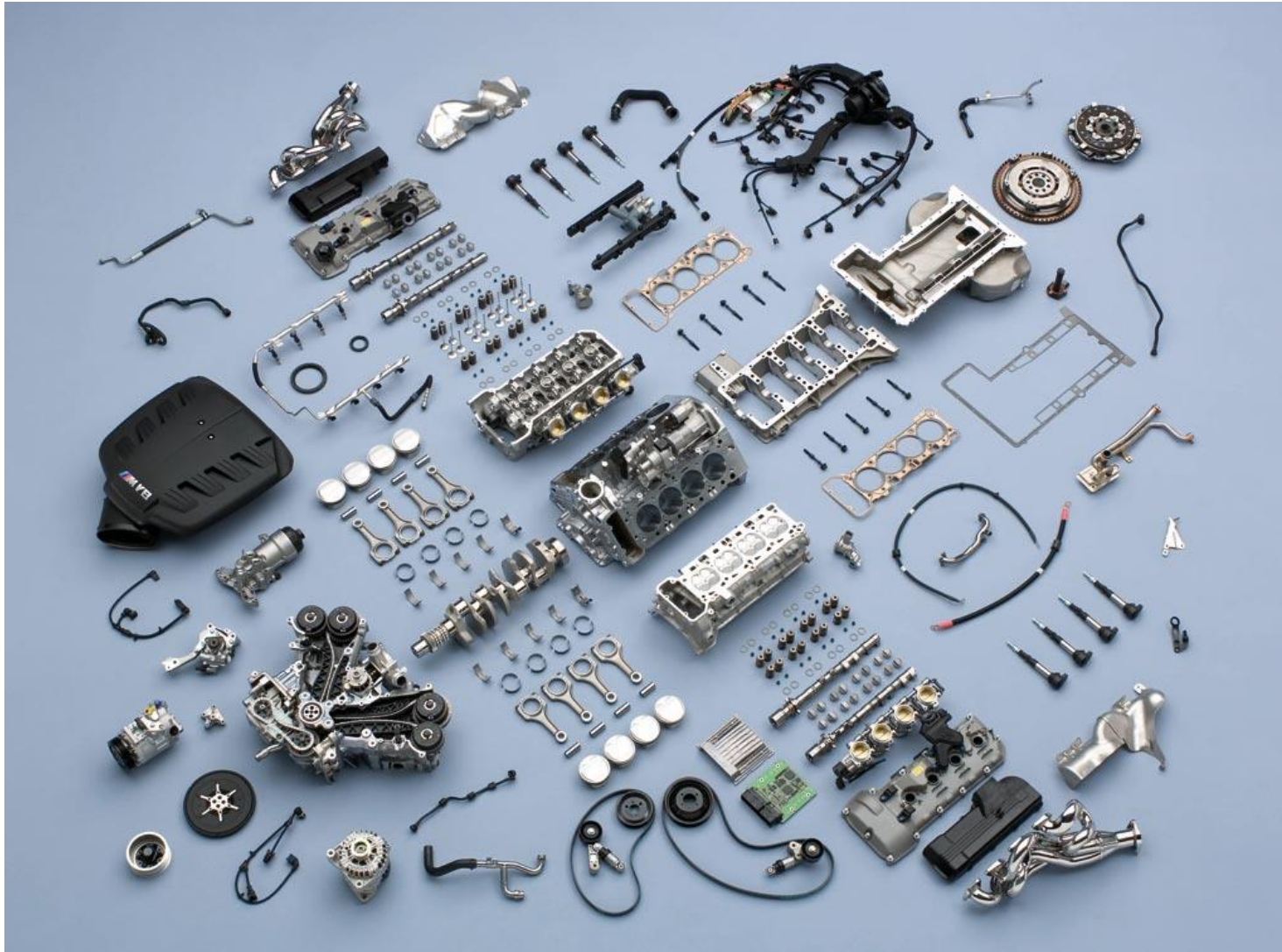
- 3999 cc,
- 309 kW/420 hp,
- 400 Nm (295 lb-ft)
- 8300 rpm.

- 85% do torque disponível a 2000 rpm

- Peso total do motor:
202 Kg

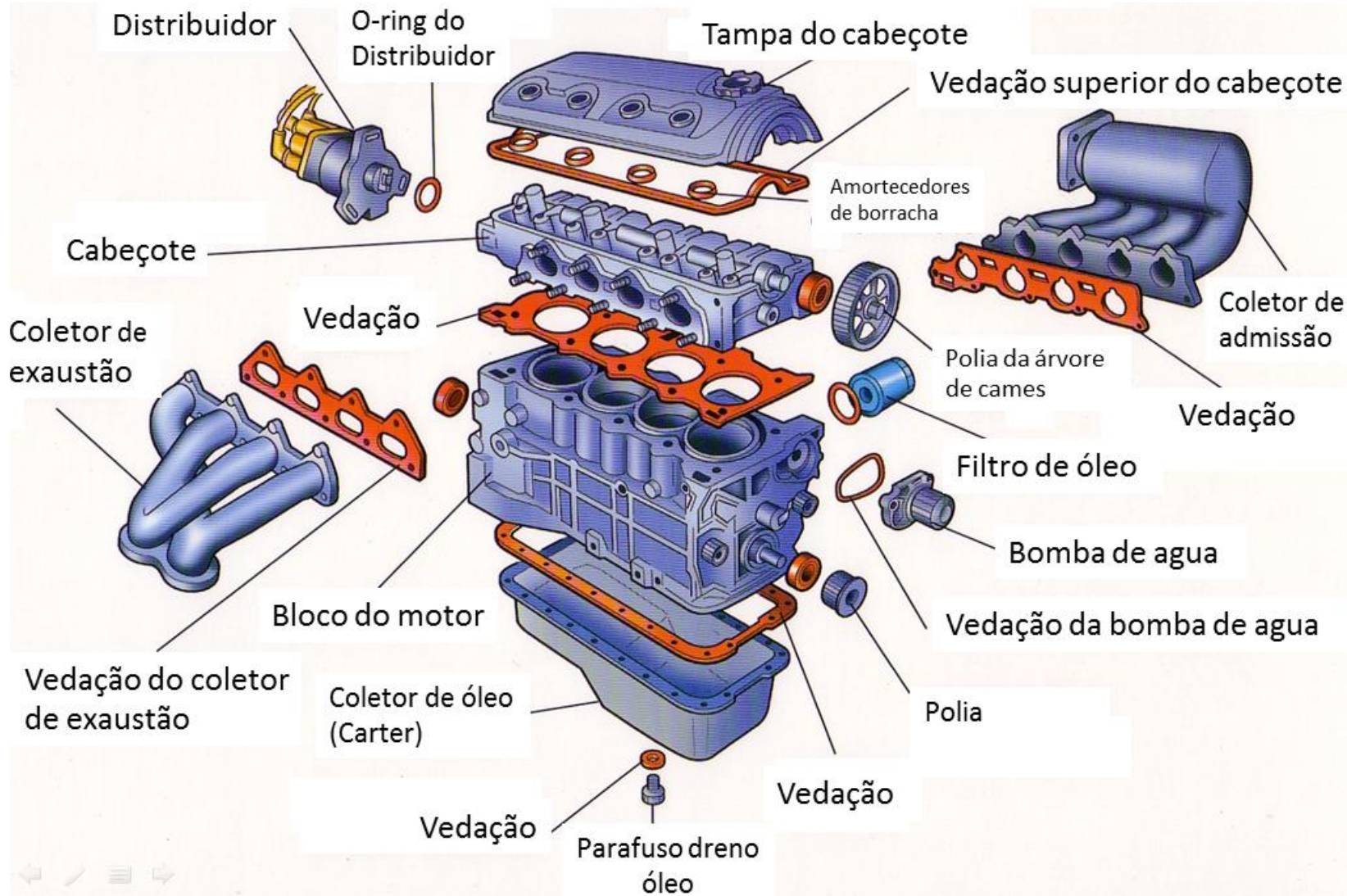


Componentes básicos de um MCI



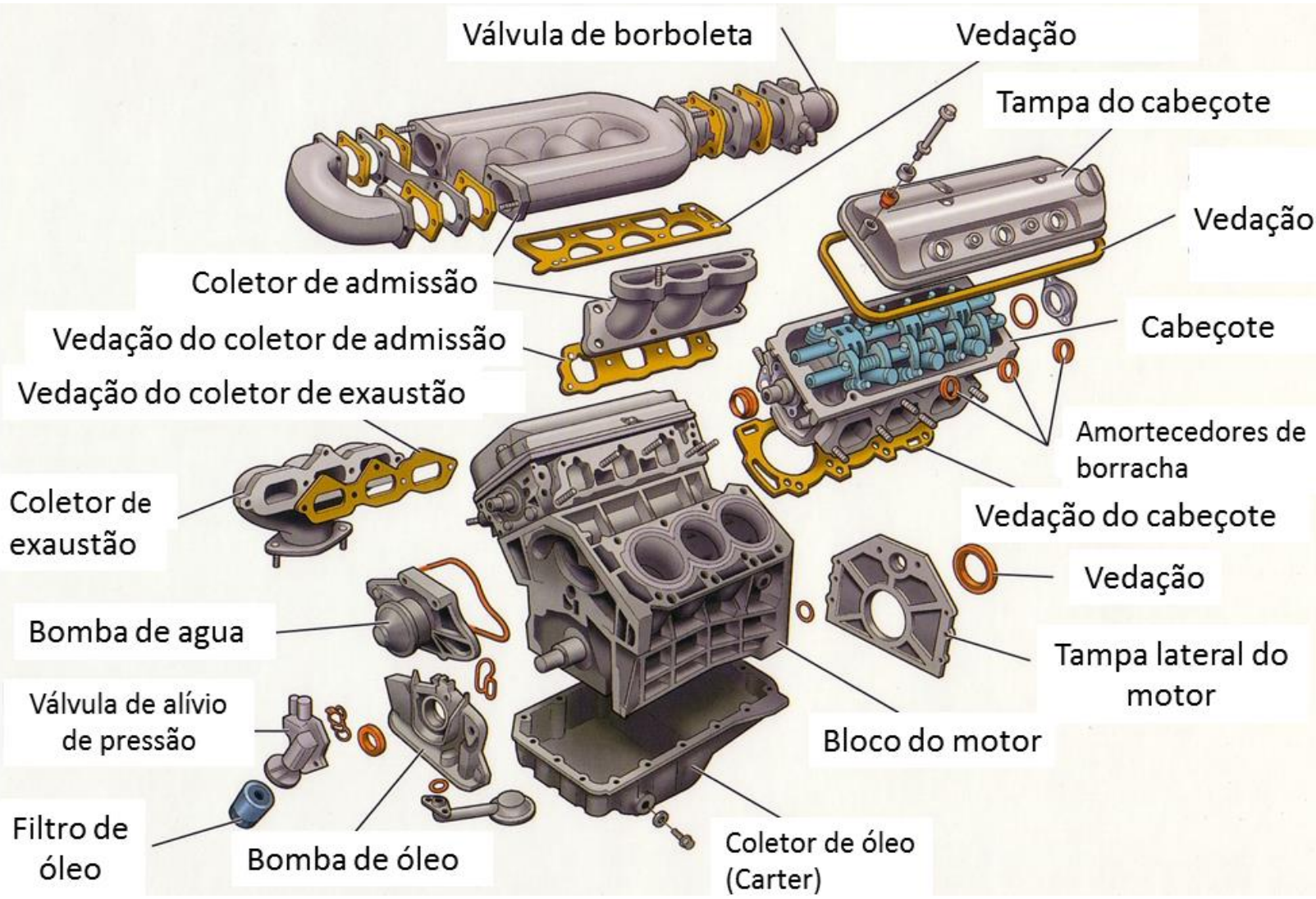


Componentes básicos de um MCI



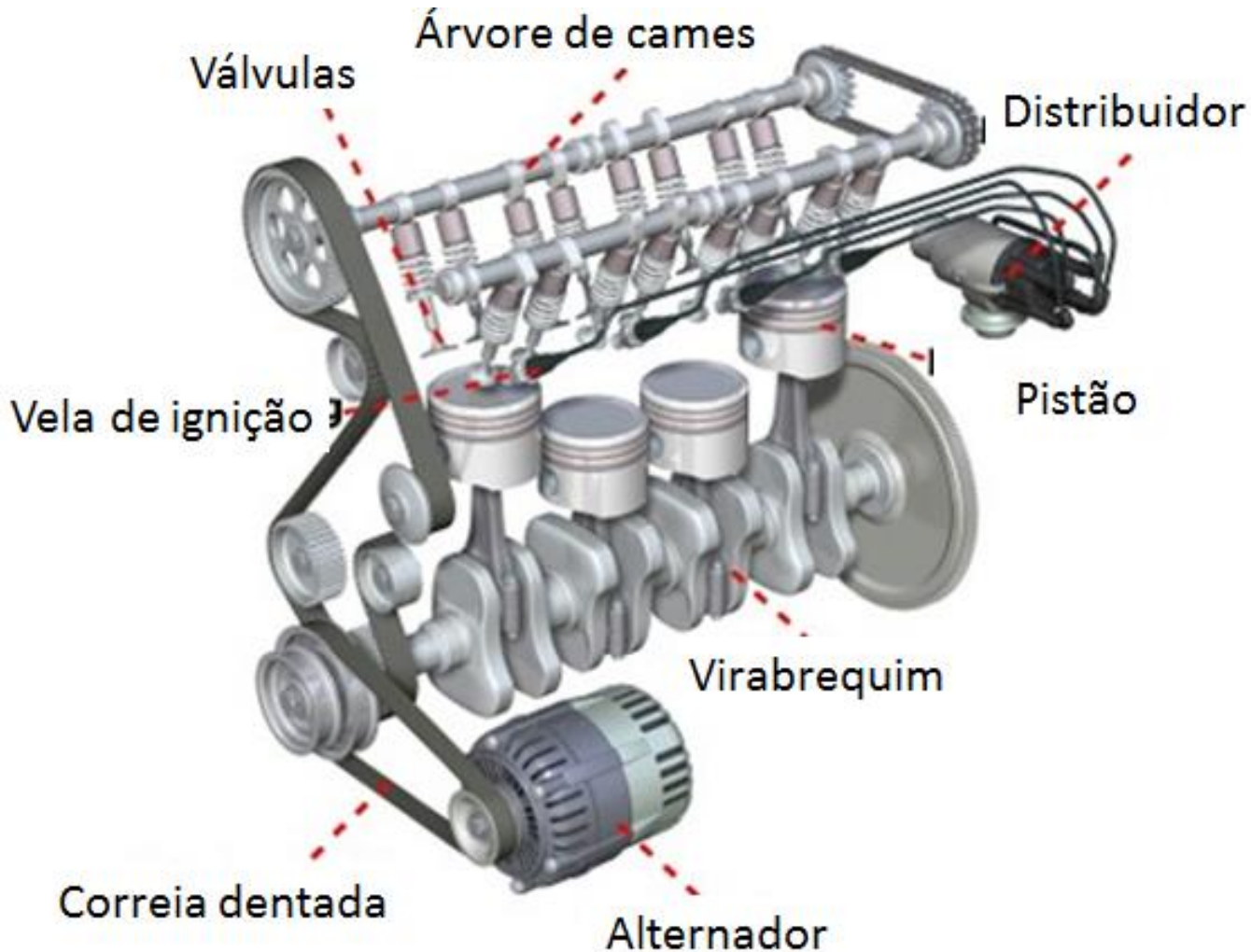


Componentes básicos de um MCI

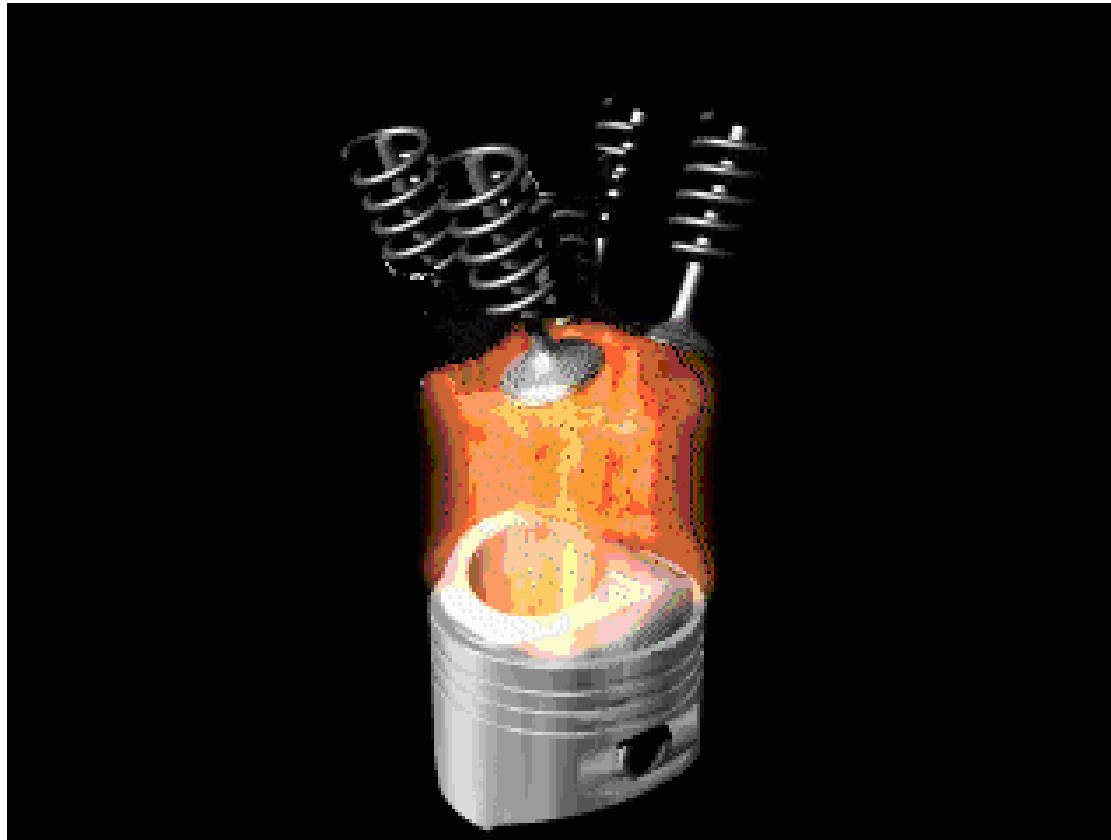




Componentes básicos de um MCI



Funcionamento dos motores de ignição por faísca elétrica



Motores alternativos – 4T

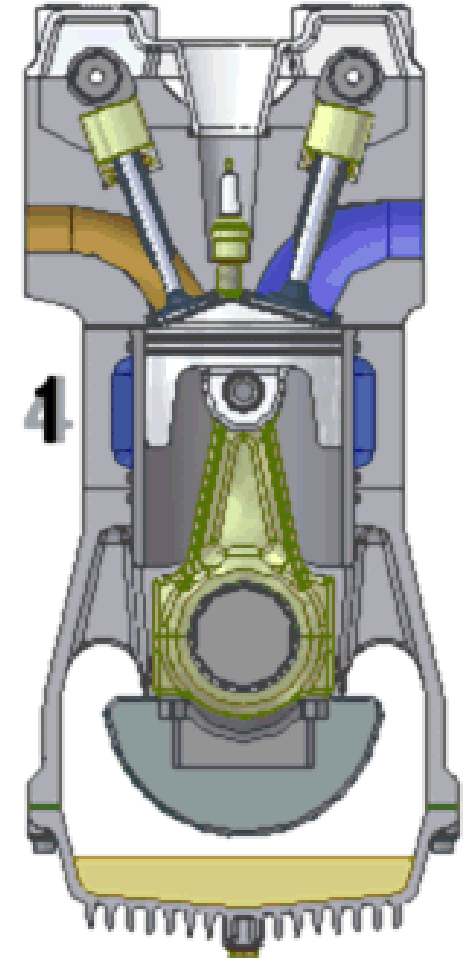
1. Primeiro tempo
 - ✓ Curso de admissão
2. Segundo tempo
 - ✓ Curso de compressão
3. Terceiro tempo
 - ✓ Curso de combustão/expansão
4. Quarto tempo
 - ✓ Curso de exaustão



Motores alternativos – 4T

1. Primeiro tempo - **curso de admissão**

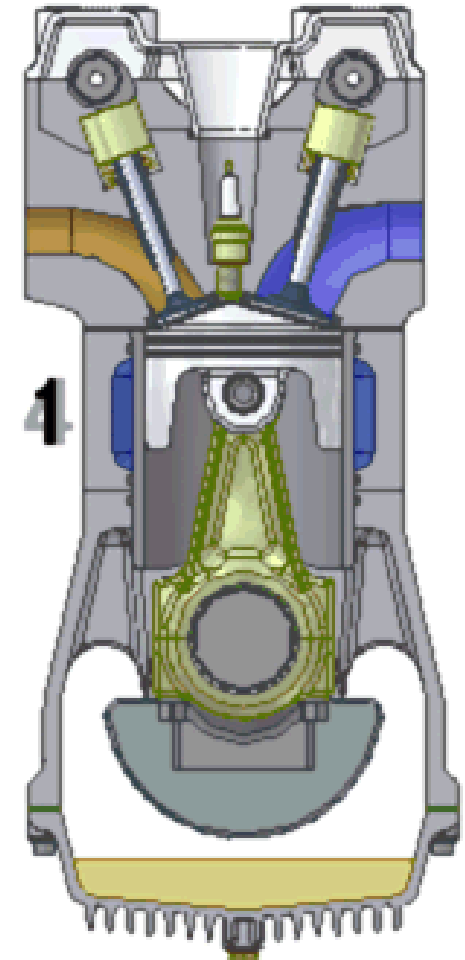
- ✓ Estando o pistão no PMS, o mesmo começa a descer estando aberta a válvula de admissão e fechada a válvula de descarga. O pistão, ao descer gera um vácuo no interior do cilindro, aspirando a mistura ar-combustível (Ciclo Otto) ou somente ar (Ciclo Diesel) até o PMI, quando a VA se fecha, cumprindo-se meia volta do virabrequim (180°).



Motores alternativos – 4T

2. Segundo tempo - **curso de compressão**

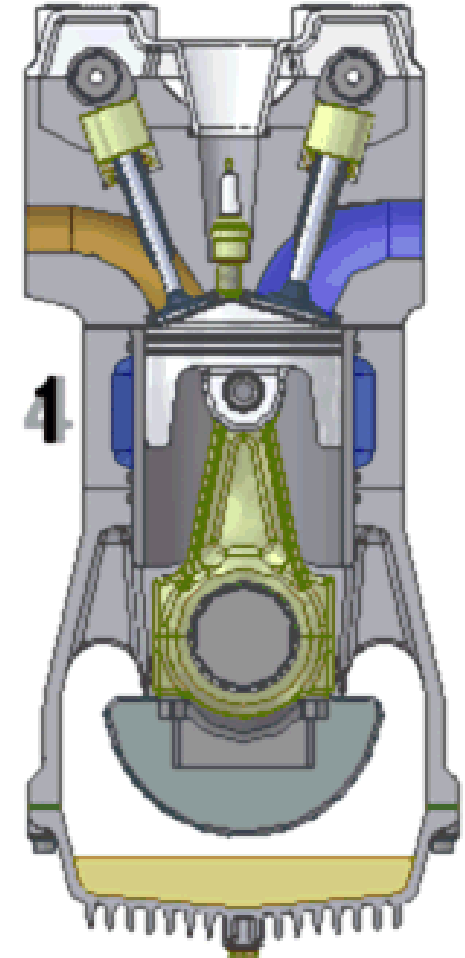
- ✓ Estando válvula de admissão e válvula de descarga fechadas, na medida que o pistão desloca-se para o PMS, o mesmo comprime o conteúdo do cilindro, aumentando a sua temperatura e pressão interna. O virabrequim gira outros 180° , completando o primeiro giro (volta completa - 360°).



Motores alternativos – 4T

3. Terceiro tempo - **curso de combustão/expansão**

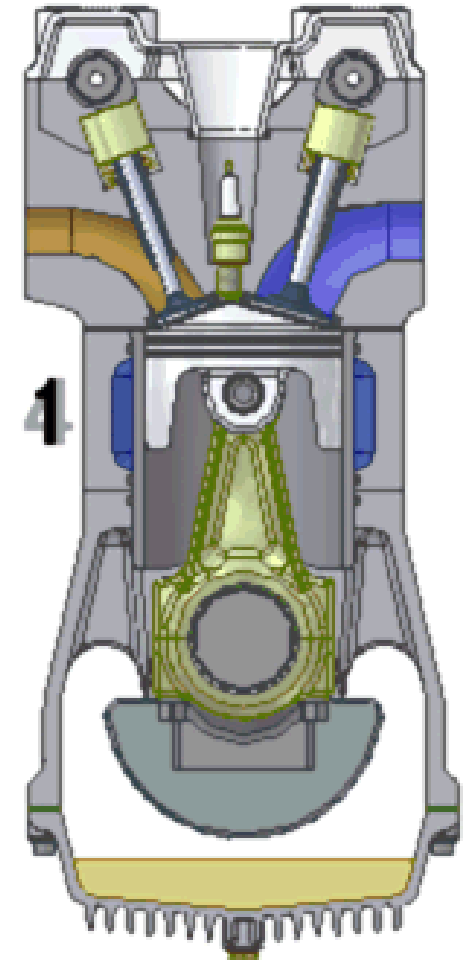
- ✓ Nesta fase é produzida a energia que será transformada em trabalho mecânico. Pouco antes do pistão atingir o PMS com VA e VD fechadas, a combustão da mistura ar / combustível é inicializada. A energia liberada na combustão dá origem a uma força no pistão, deslocando-o do PMS ao PMI. Esta força é transmitida do pistão, através da biela, ao virabrequim girando-o (executa meia volta - 180°).



Motores alternativos – 4T

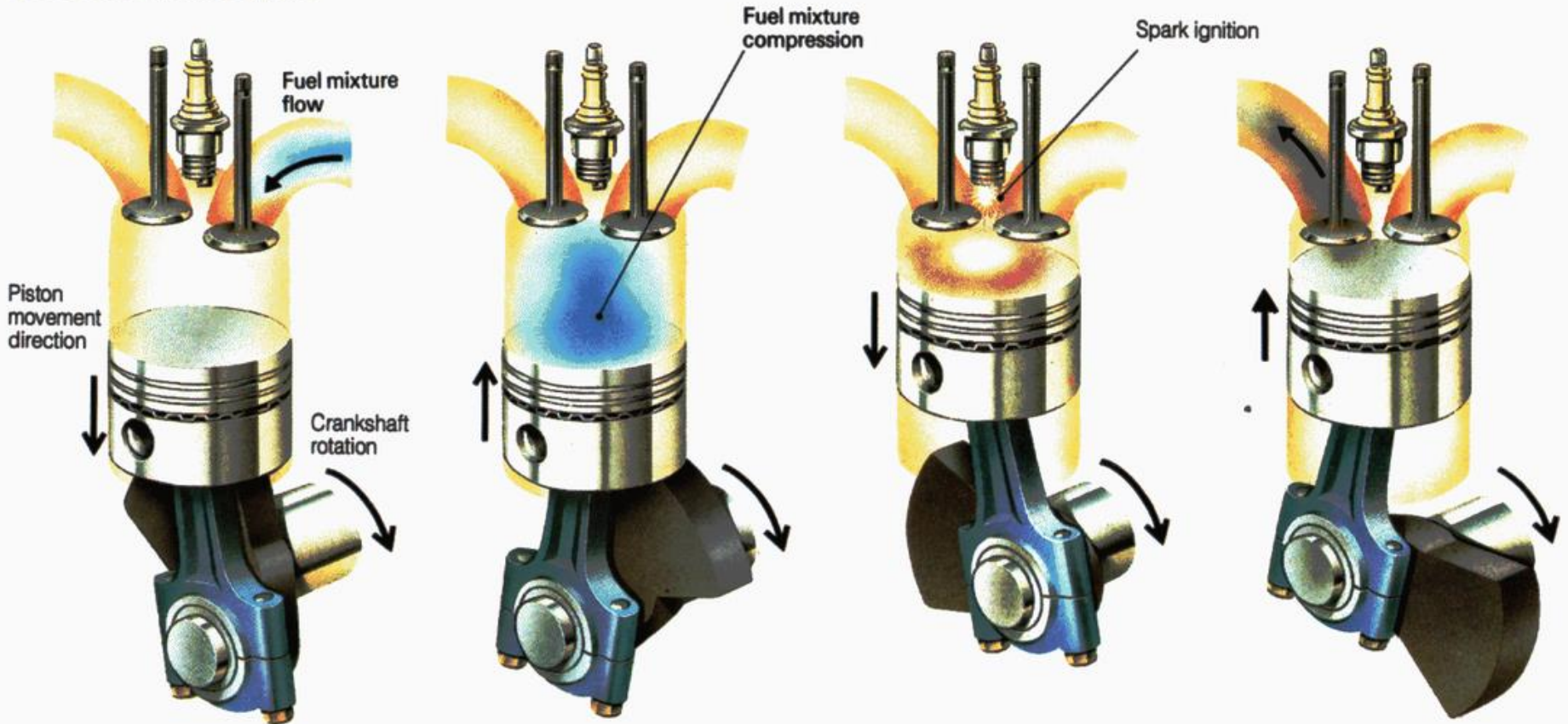
4. Quarto tempo - **curso de exaustão**

- ✓ Com a VA fechada e a VD aberta, o êmbolo, ao se deslocar do PMI para o PMS, onde VD se fecha, expulsa os produtos da combustão. O virabrequim executa outra meia volta - 180° , completando o ciclo (720°).



Motores alternativos – 4T

The four-stroke cycle



On the induction stroke the piston is descending, the inlet valve is fully open and the exhaust valve closed.

As the piston rises on its compression stroke the exhaust valve is still closed and the inlet valve is closing.

The power stroke drives the piston downwards as the ignited gases expand. Both the inlet and exhaust valves are closed.

The hot gases in the cylinder escape through the open exhaust valve as the piston rises again for the exhaust stroke.

Funcionamento dos motores de ignição por faísca elétrica

- Operação dos motores ciclo Otto – 4T
 1. Mistura ar + combustível é admitida no cilindro
 2. A **alimentação de combustível** pode ser feita de duas formas: (a) **Sistema Carburado** ou, (b) **Sistema de Injeção**
 3. Após ser admitida a mistura reagente, a mesma é comprimida pela **movimentação do pistão** na direção do ponto morto superior.
 4. Na aproximação do pistão ao ponto morto superior, ($40^\circ - 10^\circ$ graus antes do **PMS**) acontece a liberação da **faísca elétrica**.
 5. O processo de combustão começa a evoluir dentro cilindro, **o pistão continua comprimindo até o PMS e depois é forçado a se movimentar na direção do PMI** devido à expansão dos gases produtos da combustão.
 6. No movimento de retorno do pistão, e perto do PMI, a **válvula de exaustão** é aberta, iniciando o processo de “lavagem” do cilindro. Por efeitos de inercia ou induzido (massas de balanceamento do virabrequim, ou outro pistão em curso de potência) o pistão volta para o PMS **esvaziando os gases contidos no cilindro**. De novo por efeito de inercia ou induzido o pistão volta para o PMI gerando a depressão (vácuo) que induz a **admissão de ar fresco** para um novo ciclo de operação

Diag. de pressão, volume, prod. de combustão

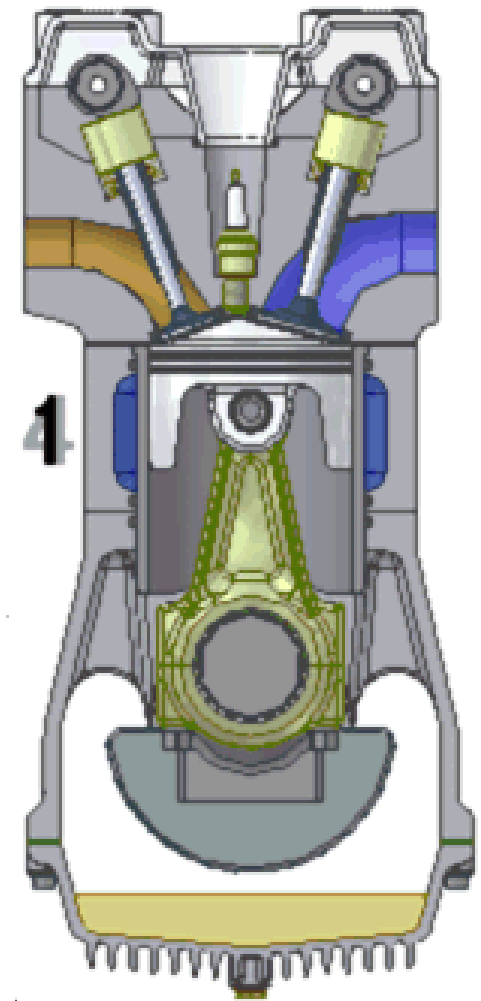
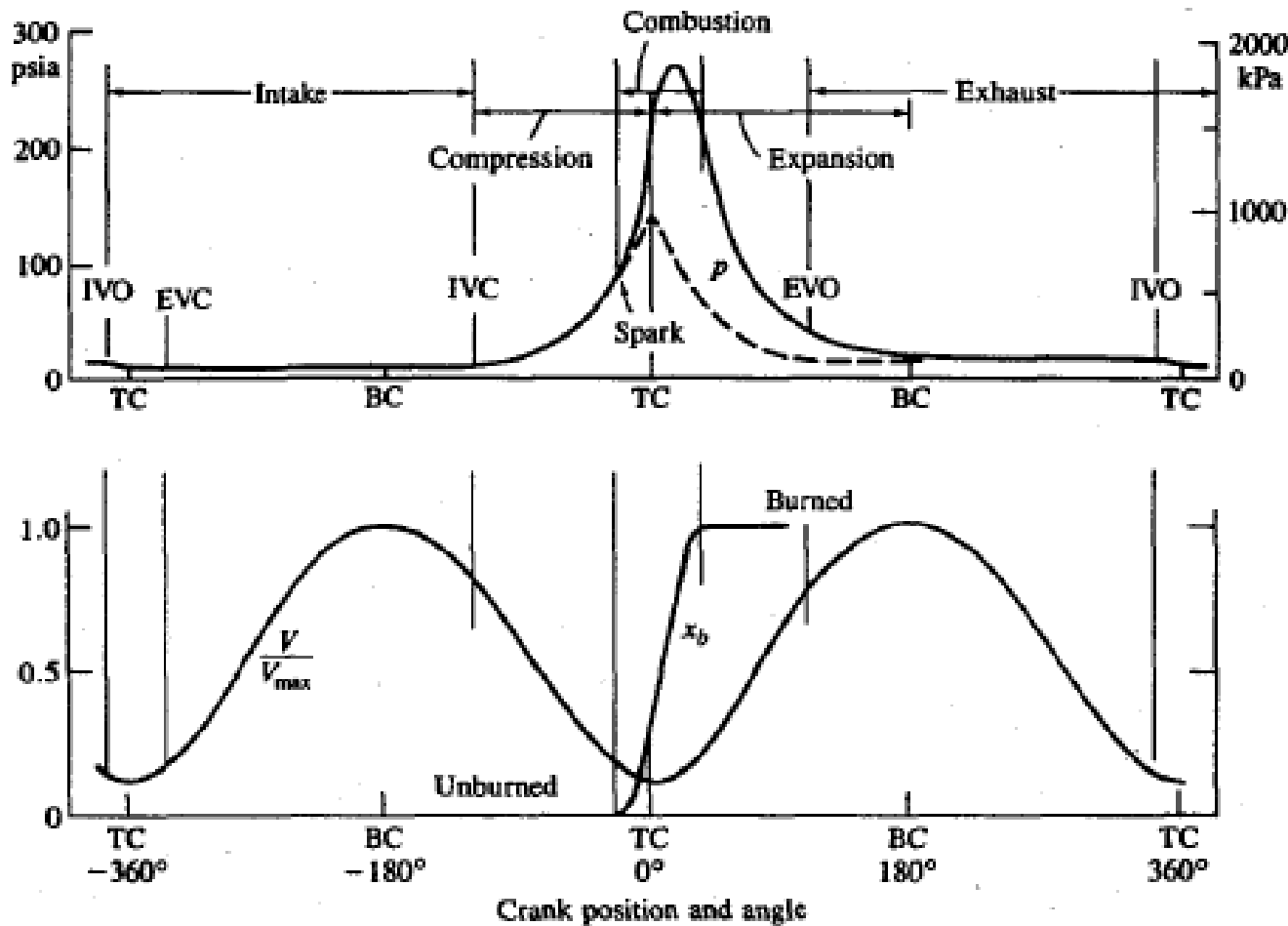


FIGURE 1-8

Sequence of events in four-stroke spark-ignition engine operating cycle. Cylinder pressure p (solid line, firing cycle; dashed line, motored cycle), cylinder volume V/V_{max} , and mass fraction burned x_b are plotted against crank angle.



Funcionamento dos motores de ignição por compressão

- Operação dos motores ciclo Diesel – 4T
 1. Ar é admitido no cilindro
 2. A alimentação de combustível é feita via sistema de injeção direta, no cilindro, ou em cada cilindro do motor
 3. Após ser admitido o ar, é injetada uma quantidade de combustível que é regulada pelo sistema de controle do motor, desta forma, a quantidade de ar admitida por ciclo, é quase constante, o que muda é a massa de combustível que entra no cilindro (não existe válvula de borboleta)
 4. Esta injeção de combustível, acontece $\sim 20^\circ$ graus antes do pistão chegar ao PMS
 5. A pressão após a compressão e antes da injeção é da ordem de 4 Mpa, a temperatura da ordem de 800 K
 6. A própria injeção gera a atomização do combustível, e inicia-se um processo de mudança de fase, o combustível em pequenas gotículas (quase uma nevoa) trocam calor com o ambiente interno do cilindro, e isto gera a própria vaporização do combustível
 7. O estado fluido dinâmico do ar recém comprimido precisa ser favorável pra formação de mistura combustível + ar para que aconteça o processo de autoignição



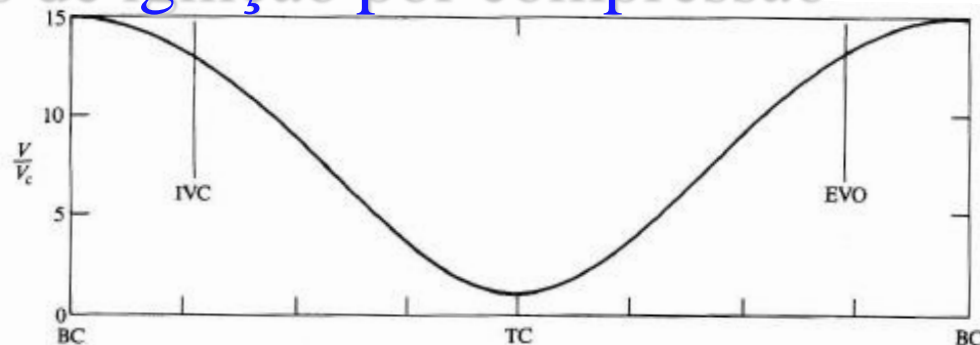
Funcionamento dos motores de ignição por compressão

- Operação dos motores ciclo Diesel – 4T
- 7. O estado fluido dinâmico do ar recém comprimido precisa ser favorável pra formação de mistura combustível + ar para que aconteça o processo de autoignição
- 8. Inicia-se então as reações de oxidação primarias do óleo diesel, decompondo o combustíveis em espécies químicas menores e mais reativas (cineticamente falando).
- 9. A mistura reagente autoignita, inicializando o processo de combustão no cilindro.
- 10. Entre tanto, o pistão continua se movimentando na direção do PMS
- 11. Iniciada a combustão e com o pistão no PMS, a pressão no cilindro sobe como consequência do processo de combustão, forçando o cilindro a se movimentar na direção do ponto morto inferior, inicia-se então o curso de potência do motor.
- 12. A combustão continua acontecendo, simultaneamente com mais injeção de combustível, atomização, vaporização, mistura turbulenta com ar, etc..
- 13. O pistão continua se deslocando na direção do PMI, e quando está se aproximando é aberta a válvula de exaustão
- 14. O pistão retorna, por inercia do sistema, para o PMS fazendo a lavagem do cilindro, e na volta para o PMI gera a depressão necessária para uma nova admissão de ar.

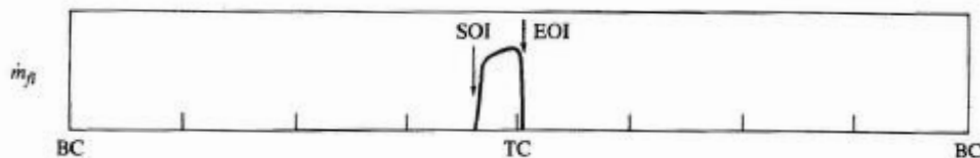
Funcionamento dos motores de ignição por compressão

➤ Operação dos motores ciclo Diesel -

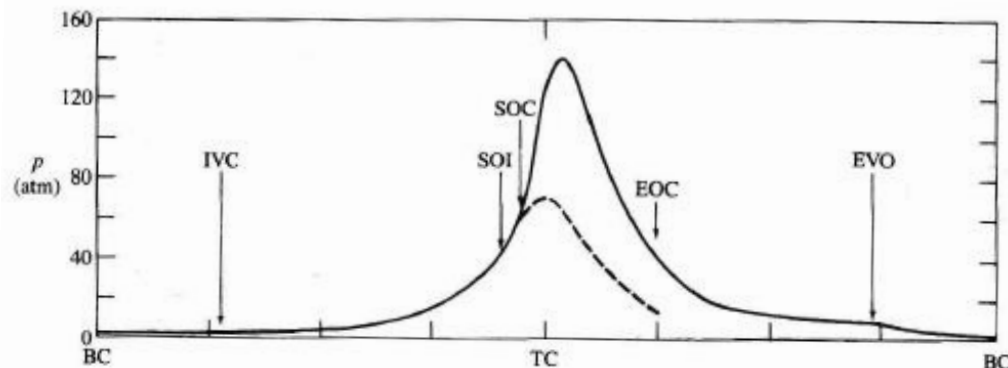
Variação do volume no cilindro



Taxa de injeção de combustível



Evolução da pressão no cilindro



Fração de combustível queimado

