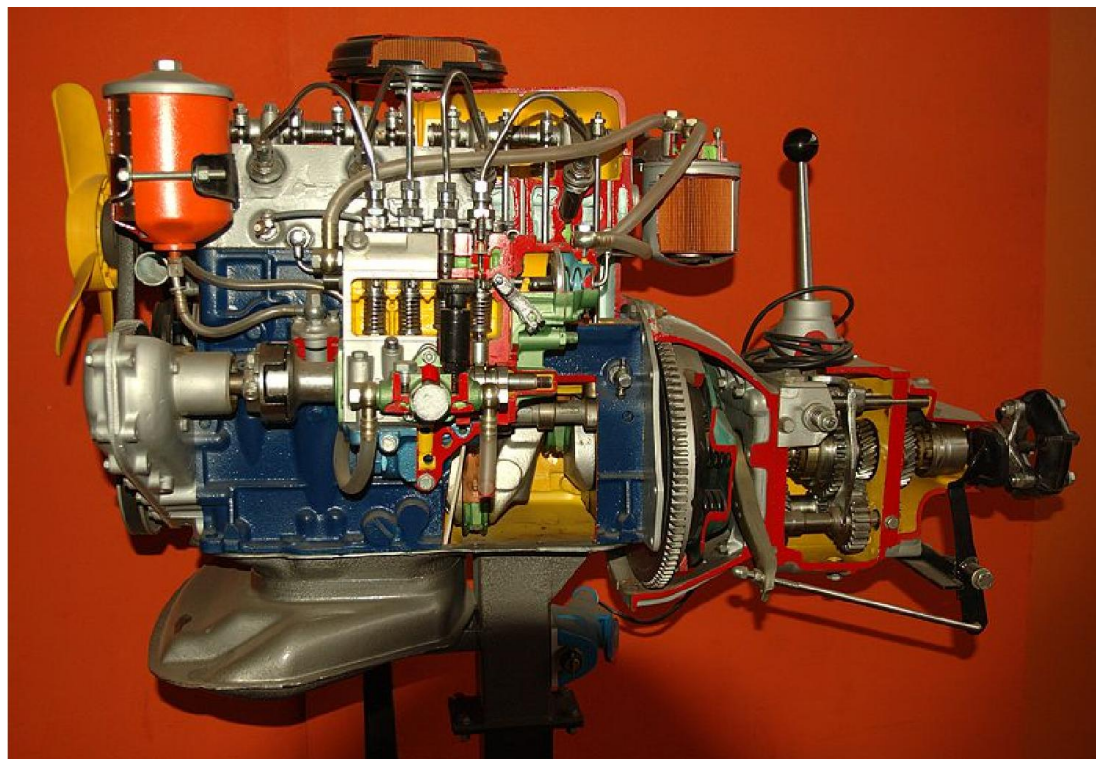


# MECÂNICA

## Motores de 4 Tempos

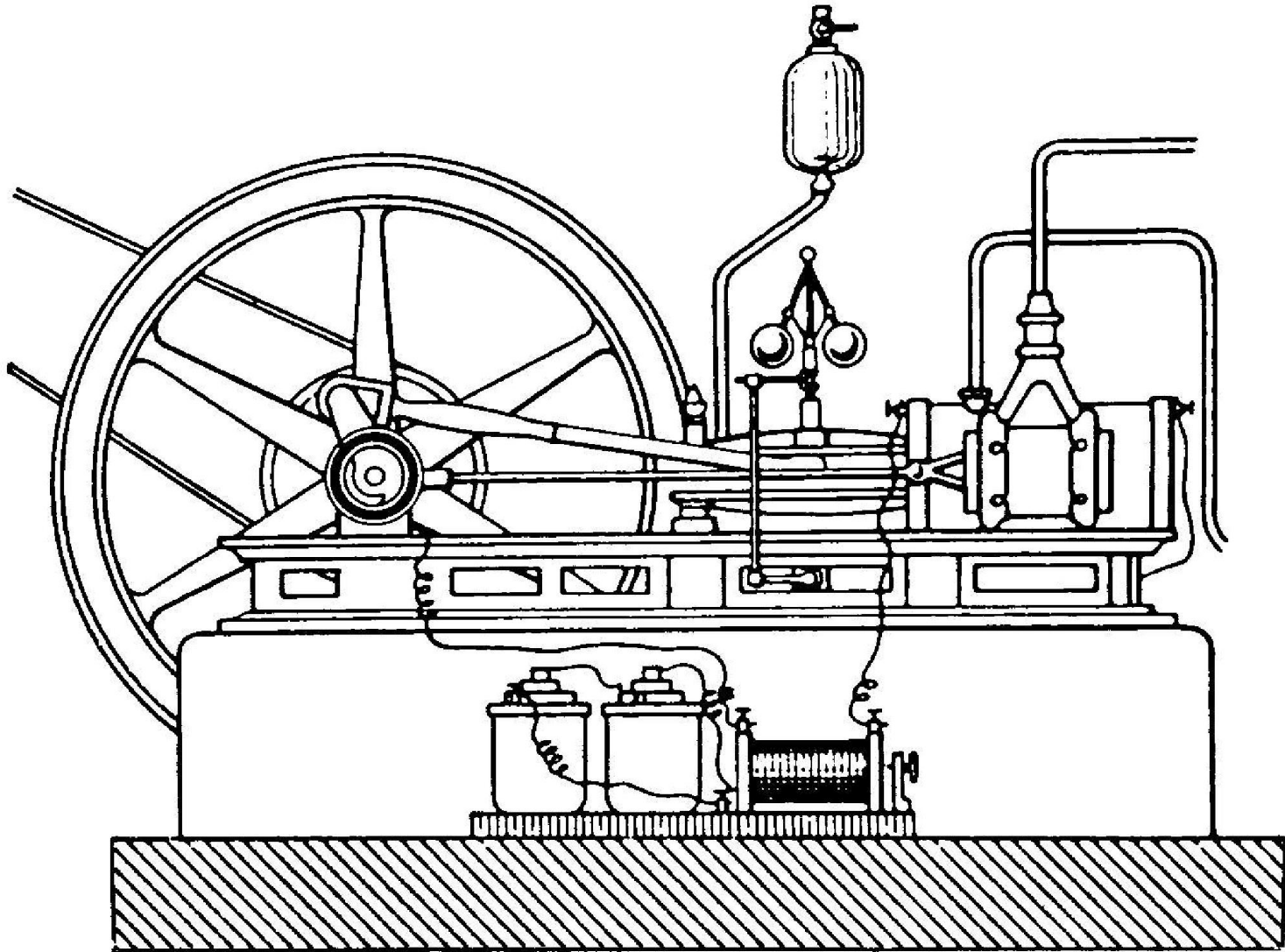


# **MÁQUINAS TÉRMICAS**

## **MOTORES ALTERNATIVOS, DE COMBUSTÃO INTERNA**

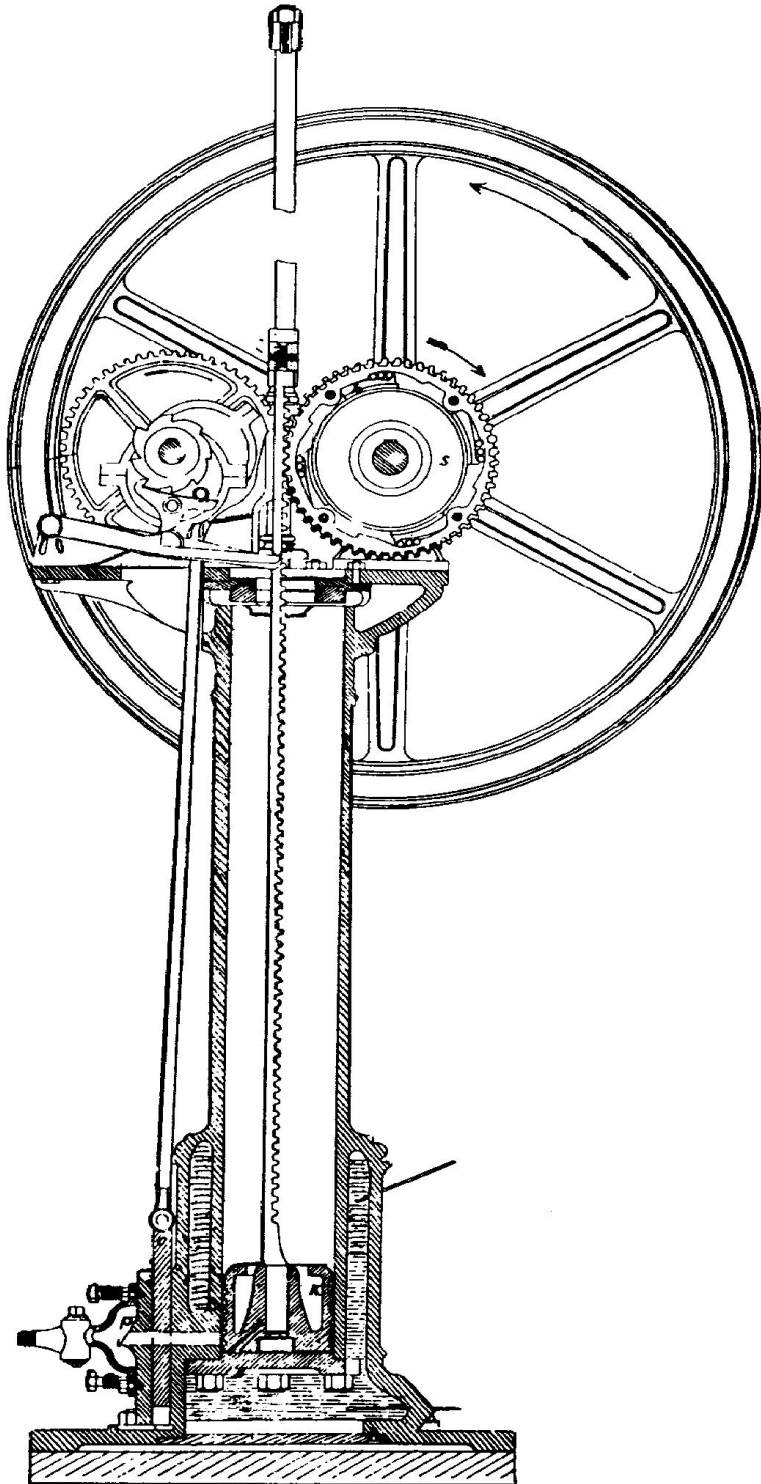
- **história**
- **características**
- **componentes, funcionamento**
- **sistemas de injeção de combustível**
- **motor turbinado**
- **motor Wankel**
- **áreas tecnológicas em desenvolvimento**

## MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA - Perspectiva Histórica



**1860** - LENOIR, J.J. E.

- primeira tentativa - sem compressão prévia da mistura ar + combustível, uns 5000 motores foram fabricados entre 1860 - 1865 , até 6 HP, máxima eficiência 5%



**1867 - NICOLAUS OTTO e  
EUGEN LANGEN**  
**Alemanha**

com compressão da mistura, uns  
10.000 foram fabricados , máxima  
eficiência 11%.

**1862 - ALPHONSE BEAU DE ROCHAS**, patente francesa  
de um motor de quatro tempos

**1876 - NICOLAUS OTTO**

motor de quatro tempos, reduz  $\frac{1}{3}$  o peso do motor e  $\frac{1}{16}$  o curso do pistão, a eficiência aumenta para 14% .

As características básicas deste motor são as mesmas dos motores de hoje.

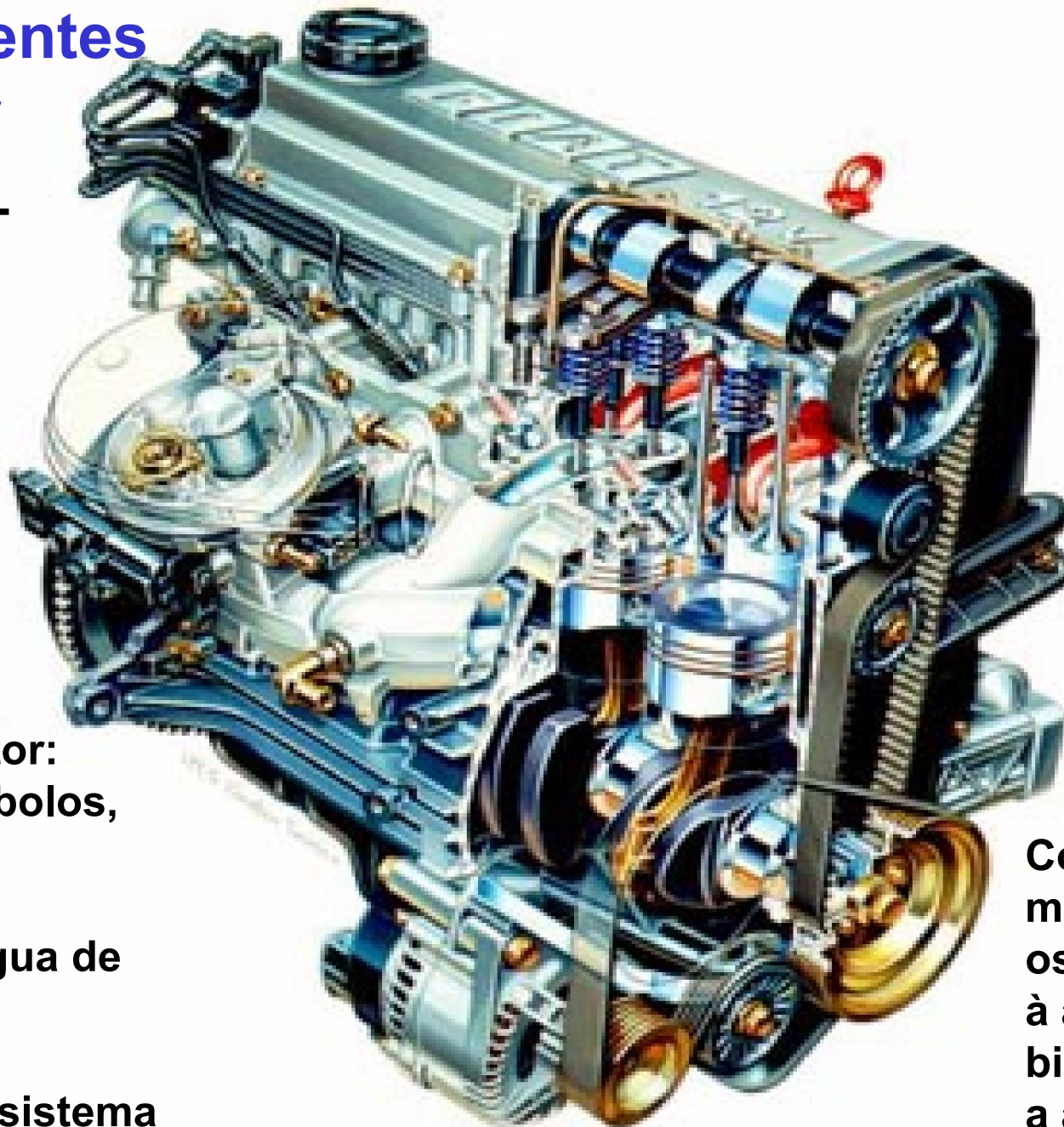
**1880 - DUGALD CLERK e JAMES ROBSON** (ingleses)  
**KARL BENZ** (alemão), desenvolvem o motor de dois tempos

**1892 - RUDOLF DIESEL** - data da patente,  
motor de ignição por compressão  
demora 5 anos para desenvolver um protótipo comercial

**1957 - WANKEL, FELIX** - primeiro teste bem sucedido do motor rotativo

# Componentes do motor

## Motor FIAT



**Cabeçote do motor :**  
válvulas,  
velas,  
Balancim (controla  
a abertura das válvulas)  
dutos de admissão  
e escapamento  
câmaras de explosão

**Correia de  
transmissão**

**Bloco do motor:**  
cilindros, êmbolos,  
bielas

**dutos para água de  
resfriamento,**

**dutos para o sistema  
de lubrificação**

**Conjunto de árvores de  
manivelas,  
os pistões estão ligados  
à árvore por meio das  
bielas,  
a árvore está apoiada na  
base do bloco do motor**

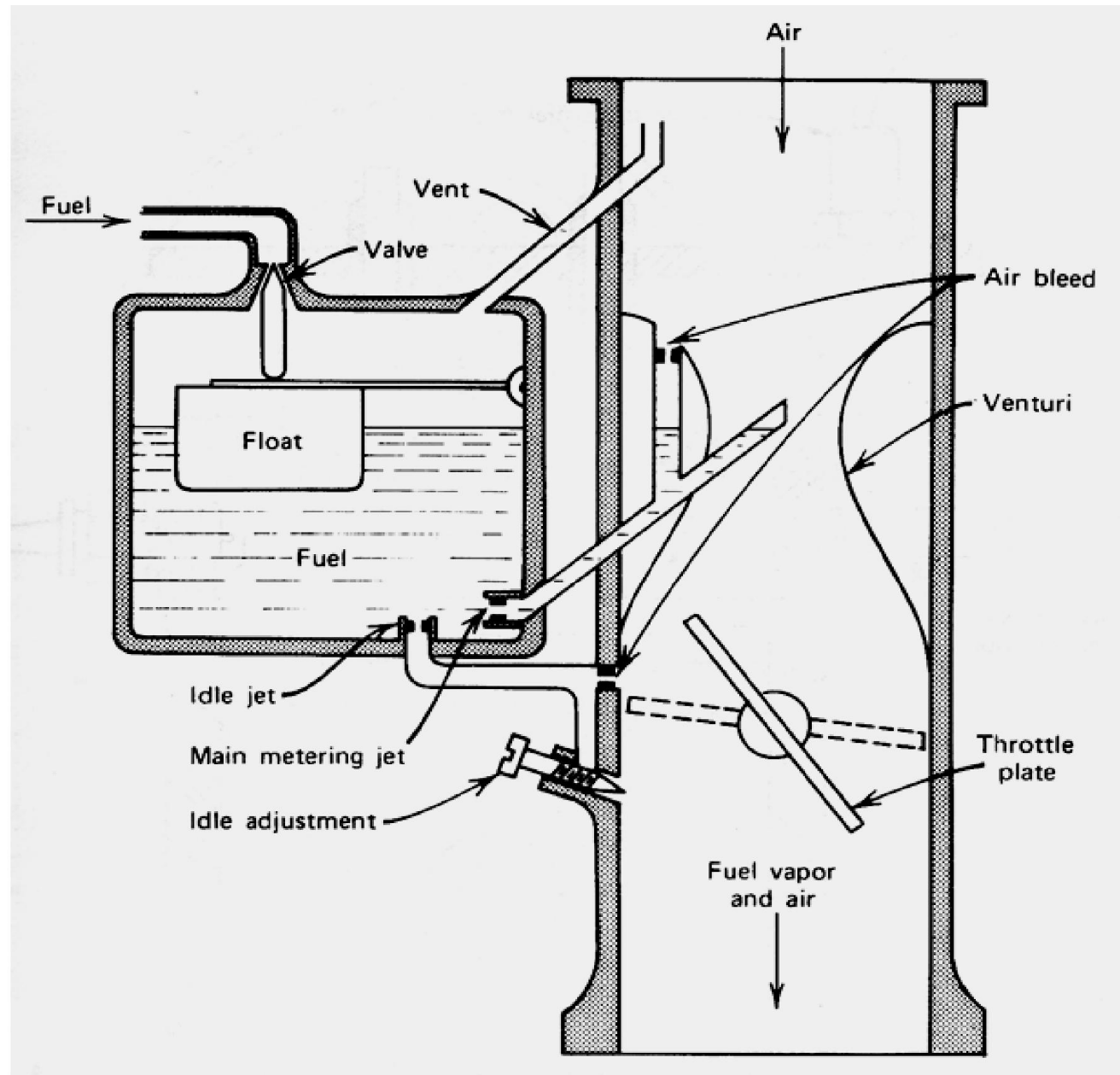
## Características dos motores segundo sua aplicação

| <b>Tipo de motor</b>            | <b>Utilização</b>                            | <b>Potência    kW</b> | <b>IC ou Diesel</b> | <b>Tempos</b> | <b>Resfriamento</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------|---------------------|
| <b>Veículos de passeio</b>      | <b>Motocicletas Scooters</b>                 | <b>0.75 - 70</b>      | <b>IC</b>           | <b>2,4</b>    | <b>Ar</b>           |
|                                 | <b>Carros pequenos</b>                       | <b>15 - 75</b>        | <b>IC</b>           | <b>4</b>      | <b>Ar,água</b>      |
|                                 | <b>Carros grandes</b>                        | <b>75 - 200</b>       | <b>IC</b>           | <b>4</b>      | <b>Ar,água</b>      |
|                                 | <b>Comerciais leves</b>                      | <b>35 - 150</b>       | <b>IC, D</b>        | <b>4</b>      | <b>Ar,água</b>      |
|                                 | <b>Comerciais pesados</b>                    | <b>120 - 400</b>      | <b>D</b>            | <b>4</b>      | <b>água</b>         |
| <b>Veículos fora de estrada</b> | <b>Veículos leves (aeroportos, fazendas)</b> | <b>1,5 - 15</b>       | <b>IC</b>           | <b>2,4</b>    | <b>Ar,água</b>      |
|                                 | <b>agricultura</b>                           | <b>3 - 150</b>        | <b>IC, D</b>        | <b>2,4</b>    | <b>Ar,água</b>      |
|                                 | <b>Movimento de terra</b>                    | <b>40 - 750</b>       | <b>D</b>            | <b>2,4</b>    | <b>água</b>         |
|                                 | <b>Militares</b>                             | <b>40 - 2000</b>      | <b>D</b>            | <b>2,4</b>    | <b>água</b>         |
| <b>Tratada de ferro</b>         | <b>locomotivas</b>                           | <b>400 - 3.000</b>    | <b>D</b>            | <b>2,4</b>    | <b>água</b>         |
| <b>Barcos</b>                   | <b>Fora de borda</b>                         | <b>0,4 - 75</b>       | <b>IC</b>           | <b>2</b>      | <b>água</b>         |
|                                 | <b>Lanchas a motor</b>                       | <b>4 - 750</b>        | <b>IC,D</b>         | <b>4</b>      | <b>água</b>         |
|                                 | <b>Barcos a motor</b>                        | <b>30 - 2.200</b>     | <b>D</b>            | <b>2,4</b>    | <b>água</b>         |
|                                 | <b>Navios</b>                                | <b>3.500 - 22.000</b> | <b>D</b>            | <b>2,4</b>    | <b>água</b>         |
| <b>Aeronaves</b>                | <b>Aviões</b>                                | <b>45 - 2.700</b>     | <b>IC</b>           | <b>4</b>      | <b>ar</b>           |
|                                 | <b>Helicópteros</b>                          | <b>45 - 1.500</b>     | <b>IC</b>           | <b>4</b>      | <b>ar</b>           |
| <b>Domésticos</b>               | <b>Cortador de grama</b>                     | <b>0,7 - 3</b>        | <b>IC</b>           | <b>2,4</b>    | <b>ar</b>           |
| <b>Estacionários</b>            | <b>Potência elétrica</b>                     | <b>35 - 22,000</b>    | <b>D</b>            | <b>2,4</b>    | <b>água</b>         |

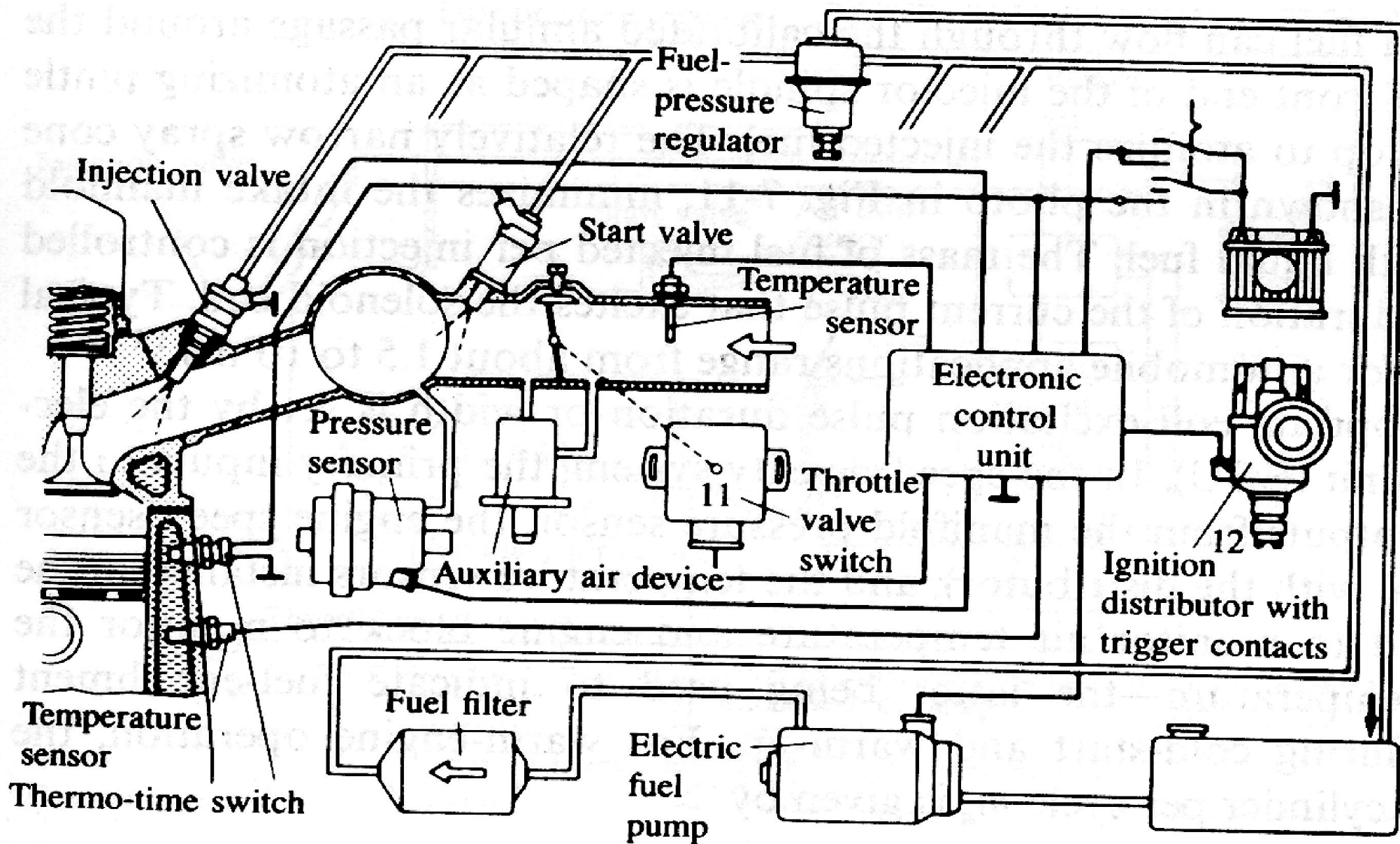
IC: Ignição por centelha, D: Diesel

# Carburador

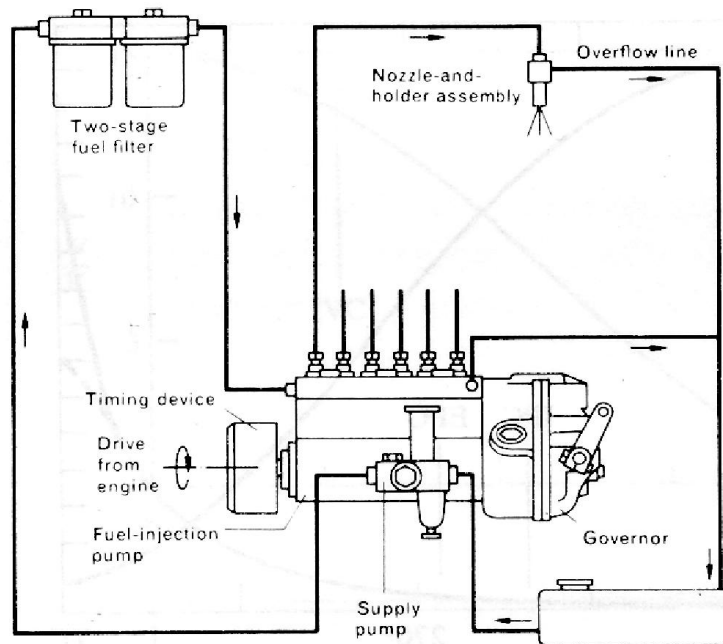
princípio de  
funcionamento



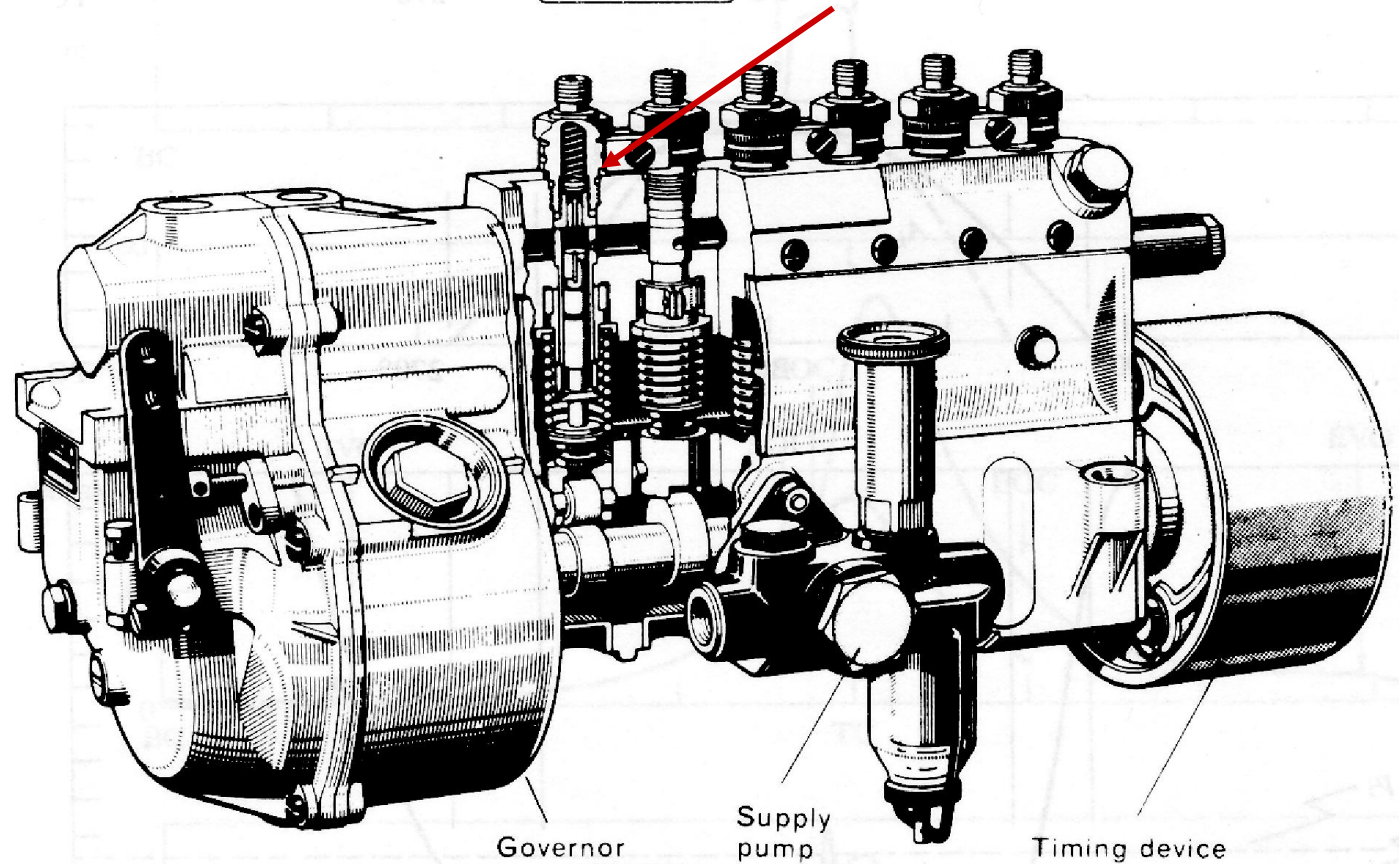
## Sistema de Injeção eletrônica de combustível - Bosch



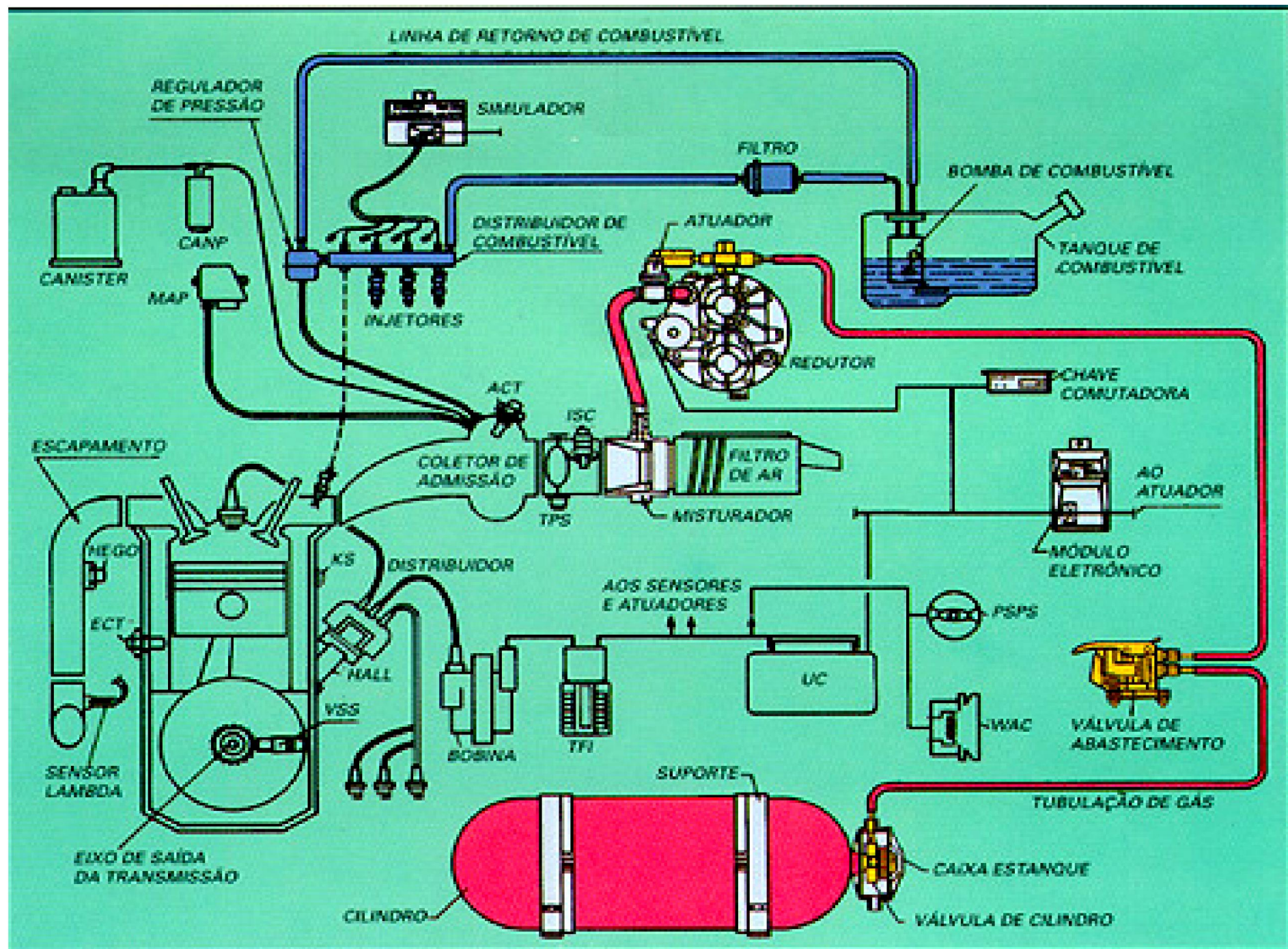
# Sistema de injeção (Bosch) Motor Diesel



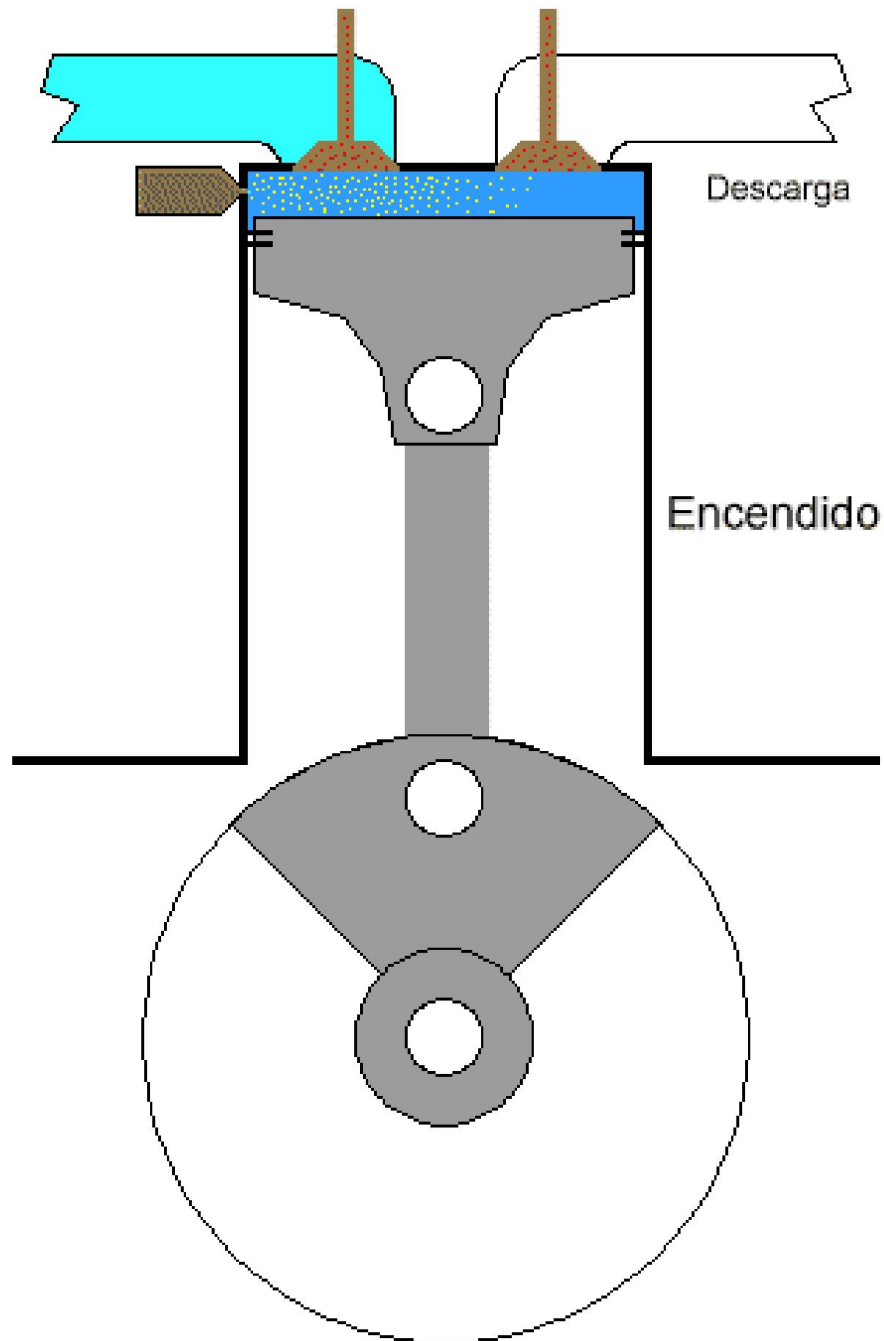
**Válvulas que controlam  
a liberação de combustível**



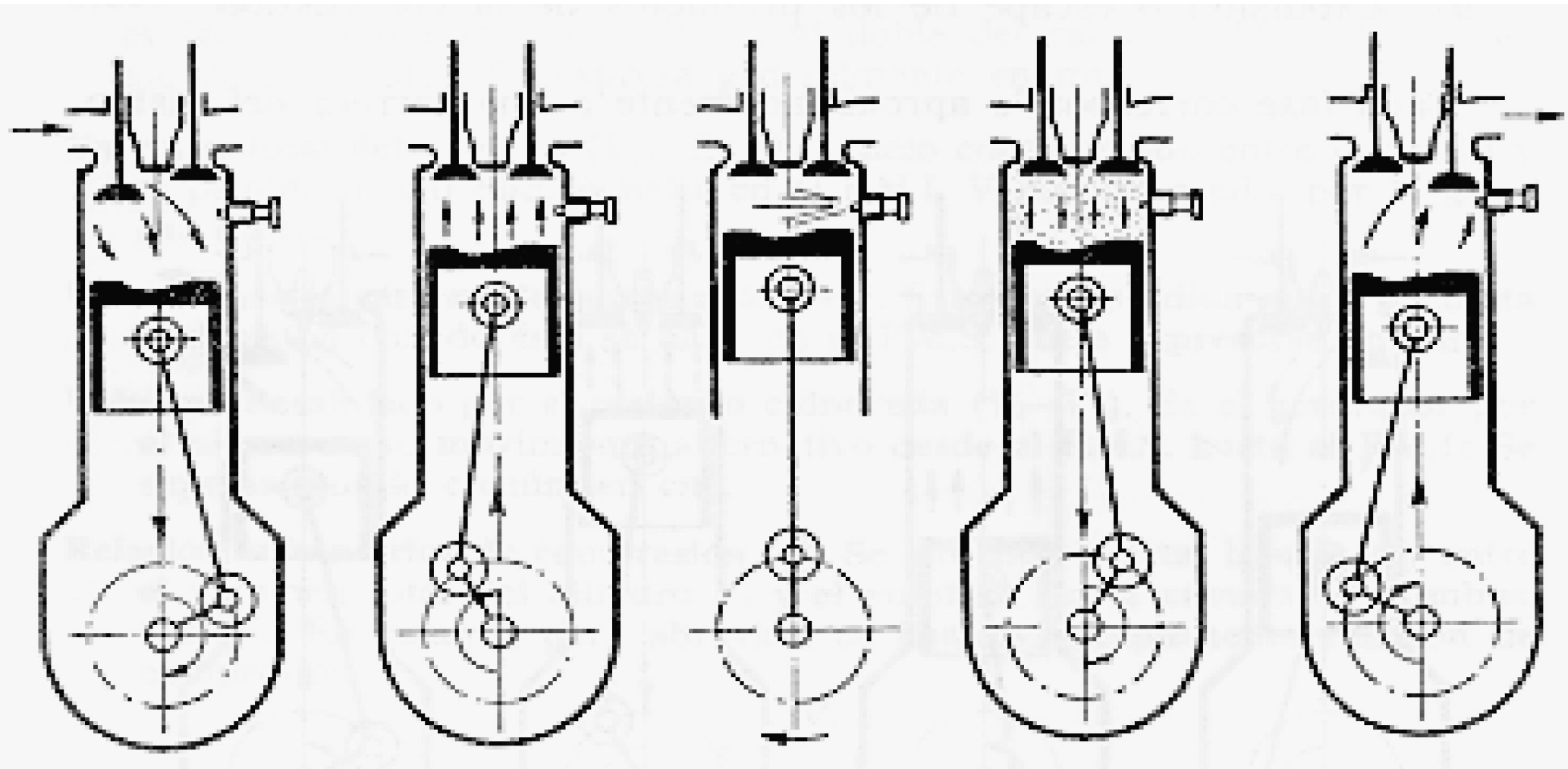
# Sistema de alimentação de gás da Rodagás



# Princípio de funcionamento do motor Diesel



**Motor de 4 tempos com injeção de combustível no cilindro:**  
**ciclo de funcionamento**



1

**Admissão**

2

**Compressão**

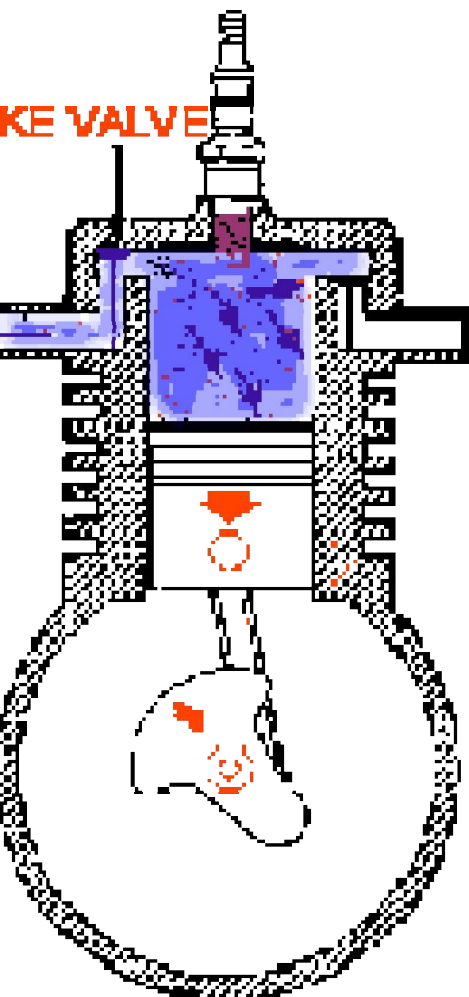
**Injeção do  
combustível**

3

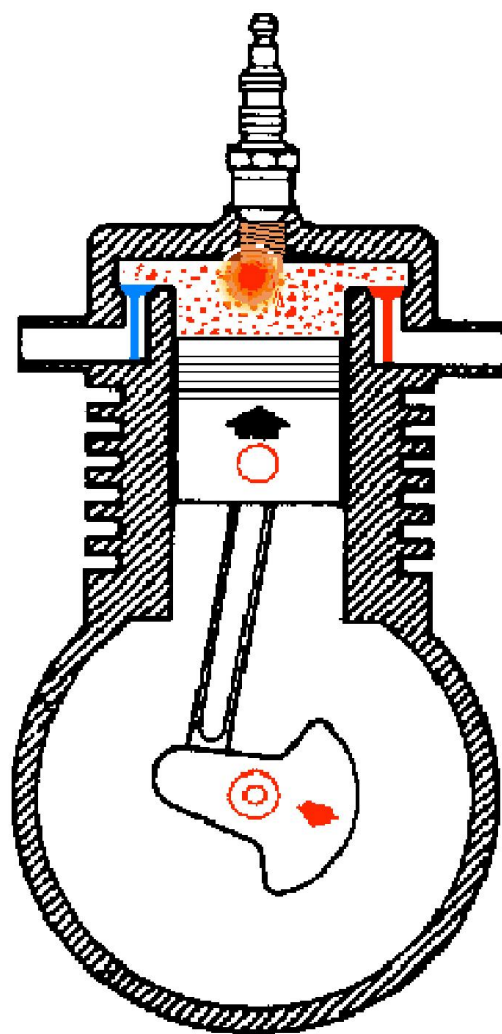
**Expansão**

4

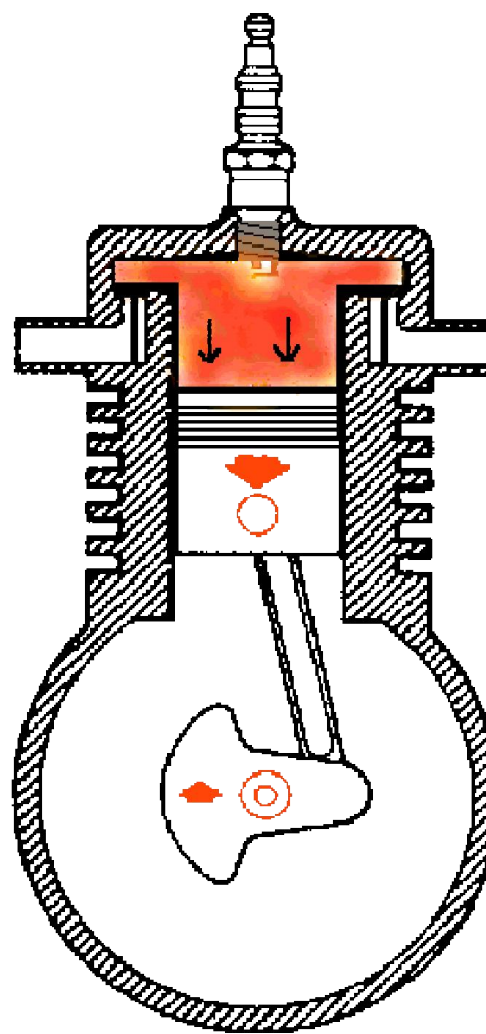
**Escape**



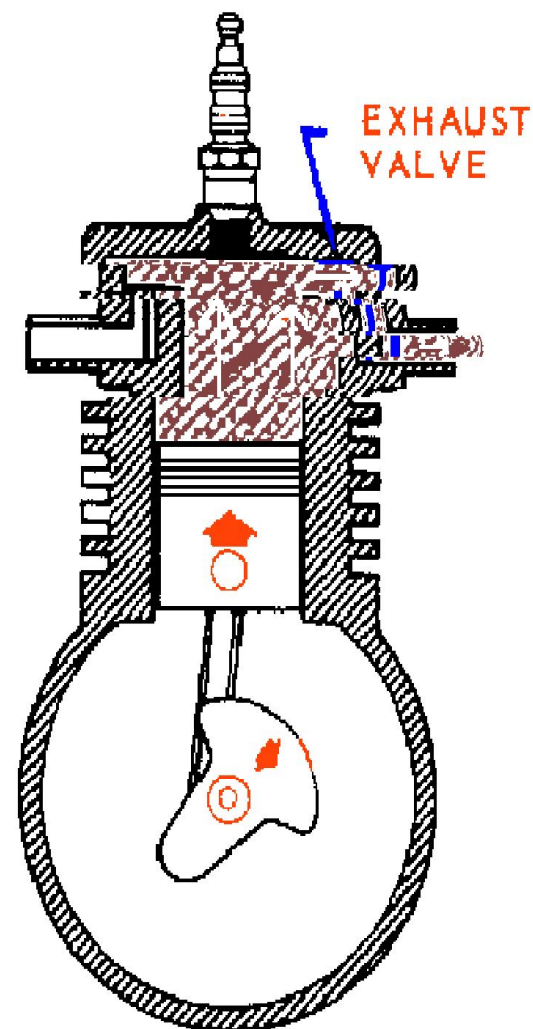
INTAKE STROKE



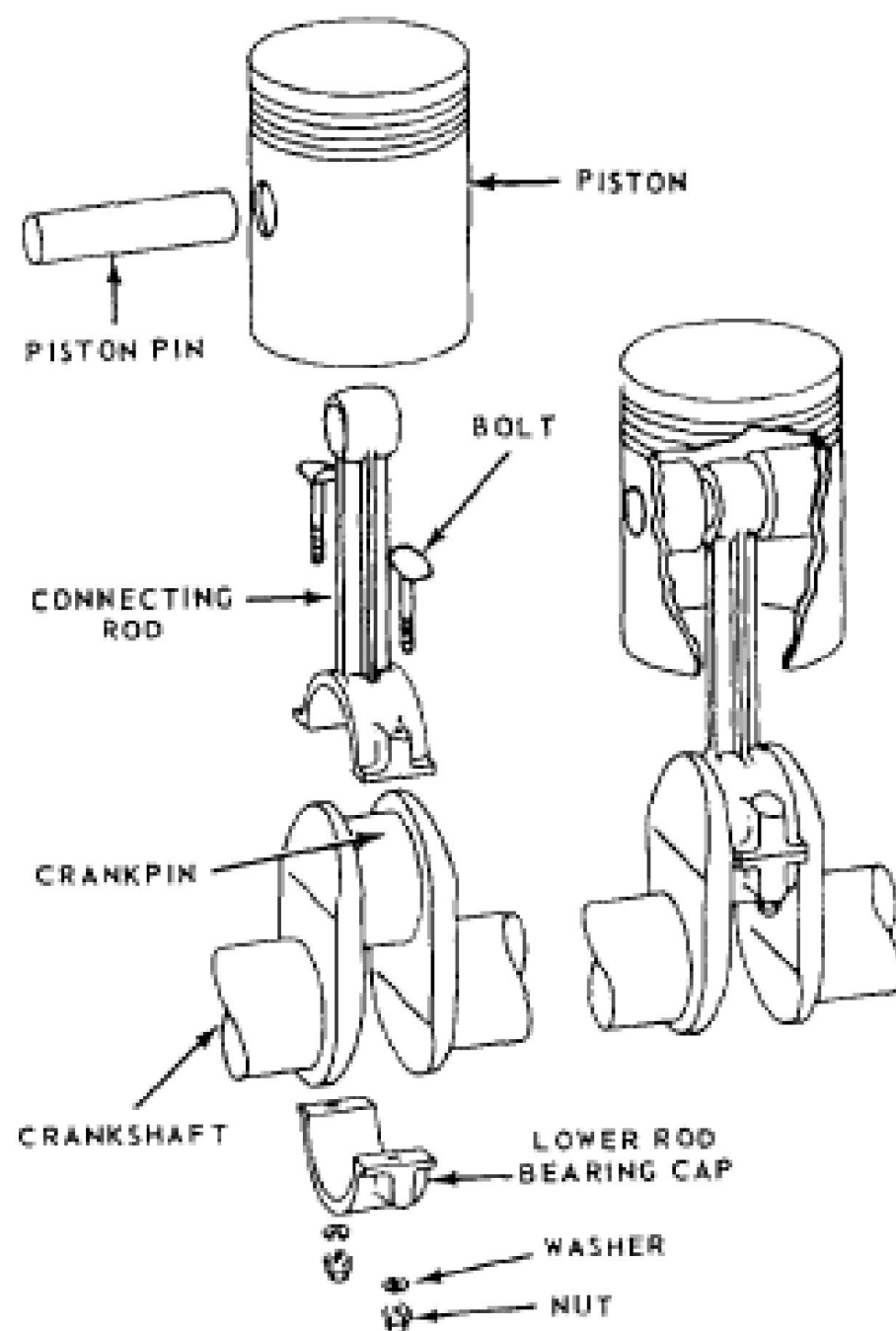
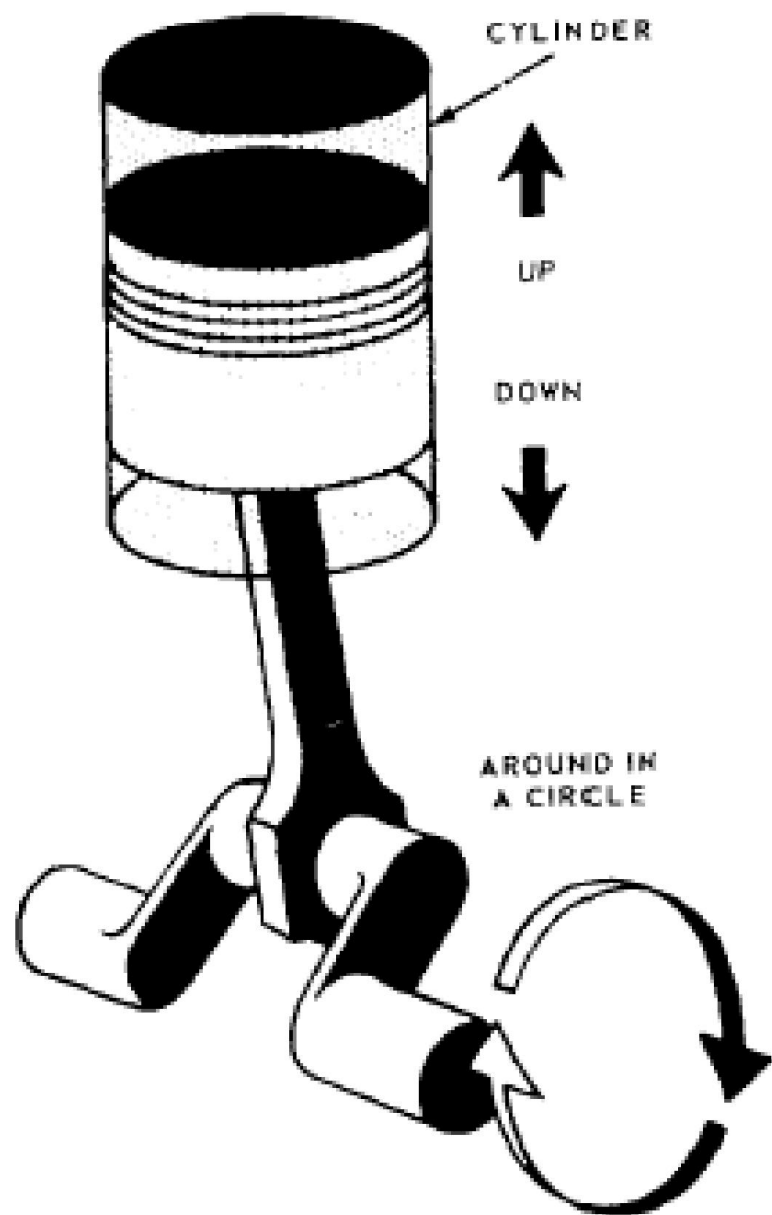
COMPRESSION  
STROKE



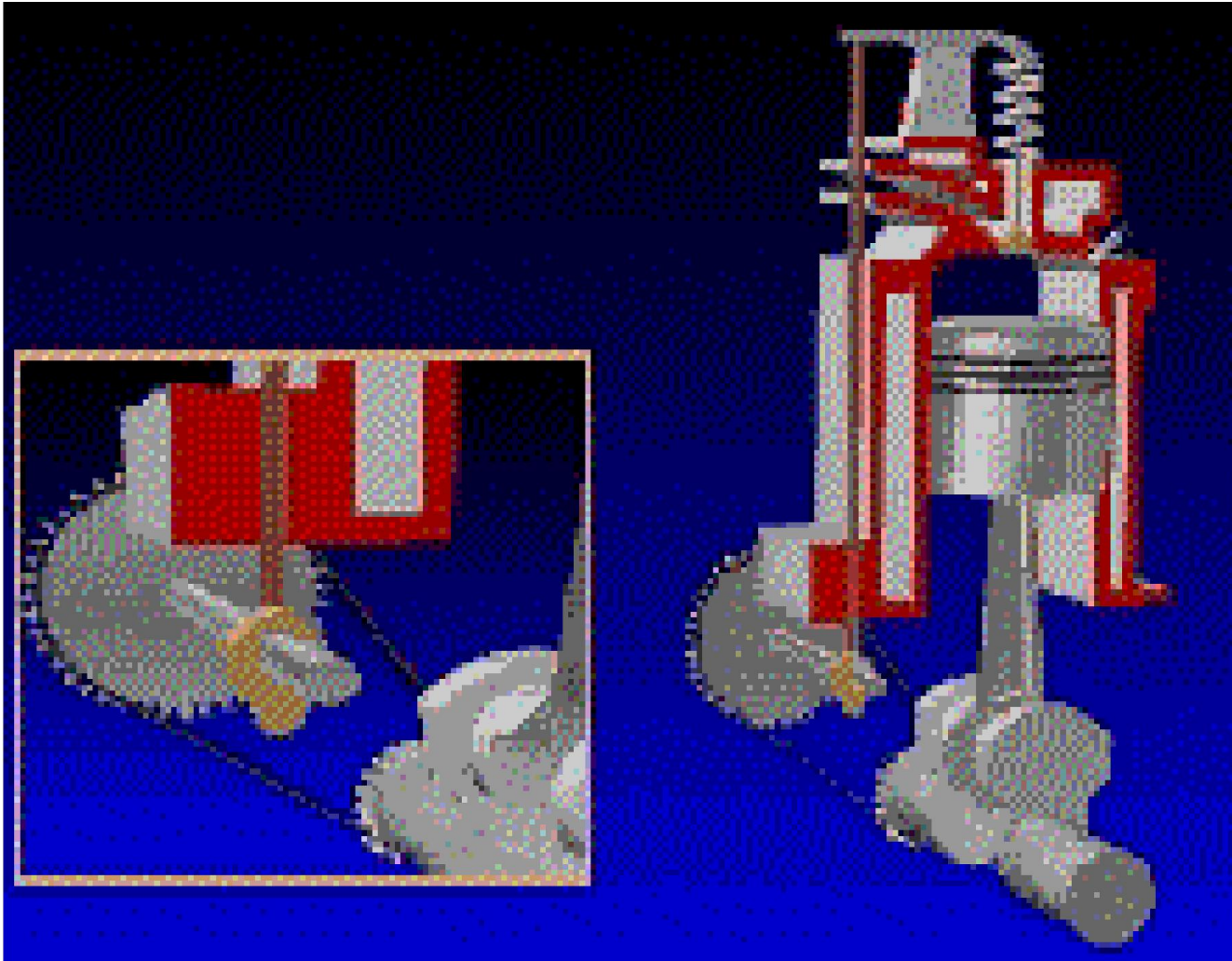
POWER  
STROKE



EXHAUST  
STROKE

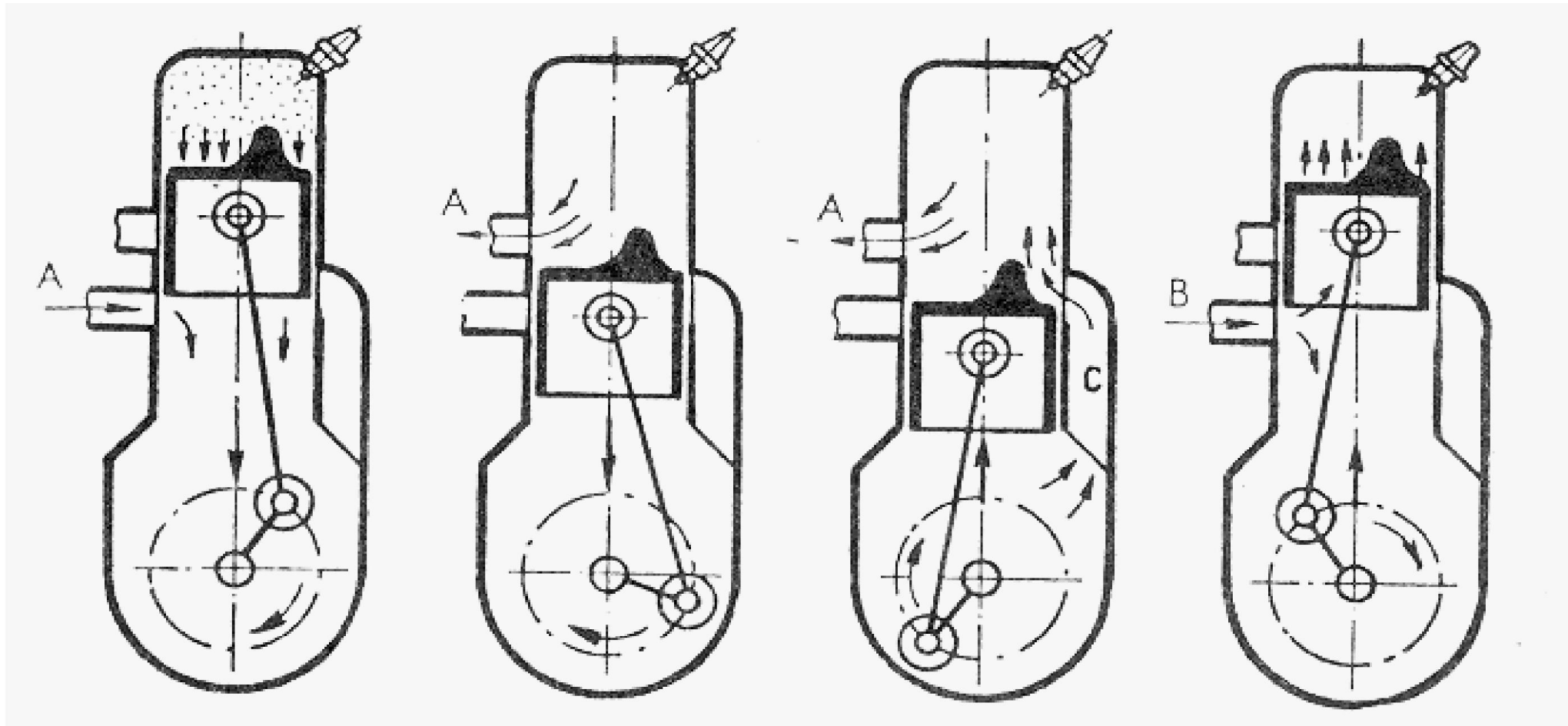


## Acionamento das válvulas



## Motor de 2 tempos , ciclo de funcionamento

aspirado, sem válvulas de aspiração e escape, de ignição por centelha



1

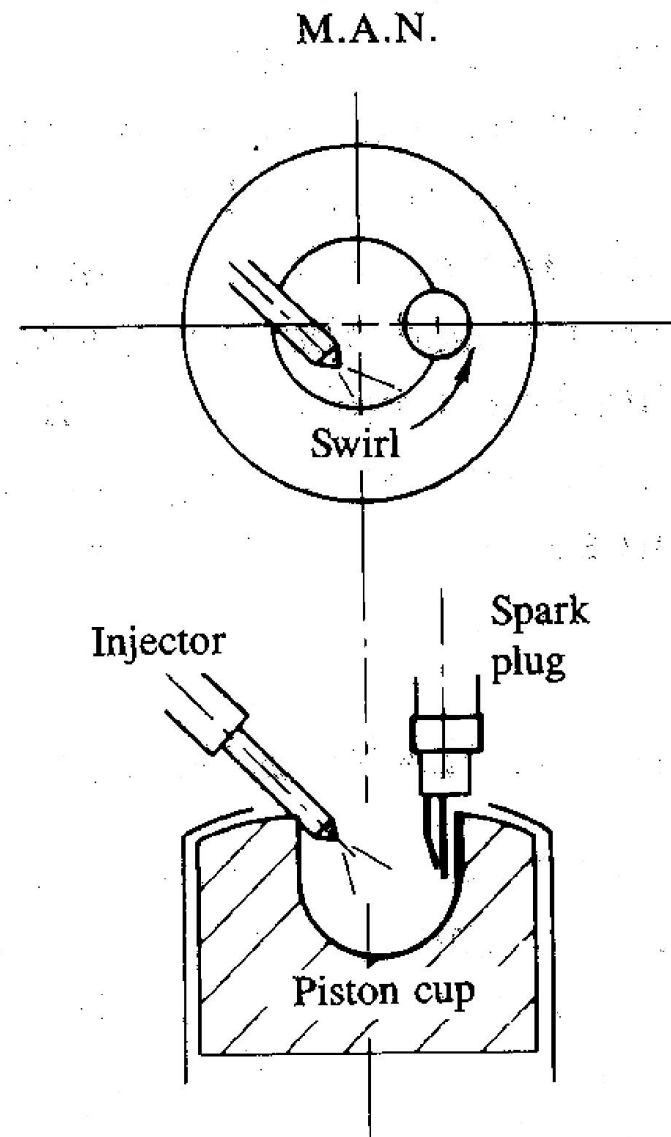
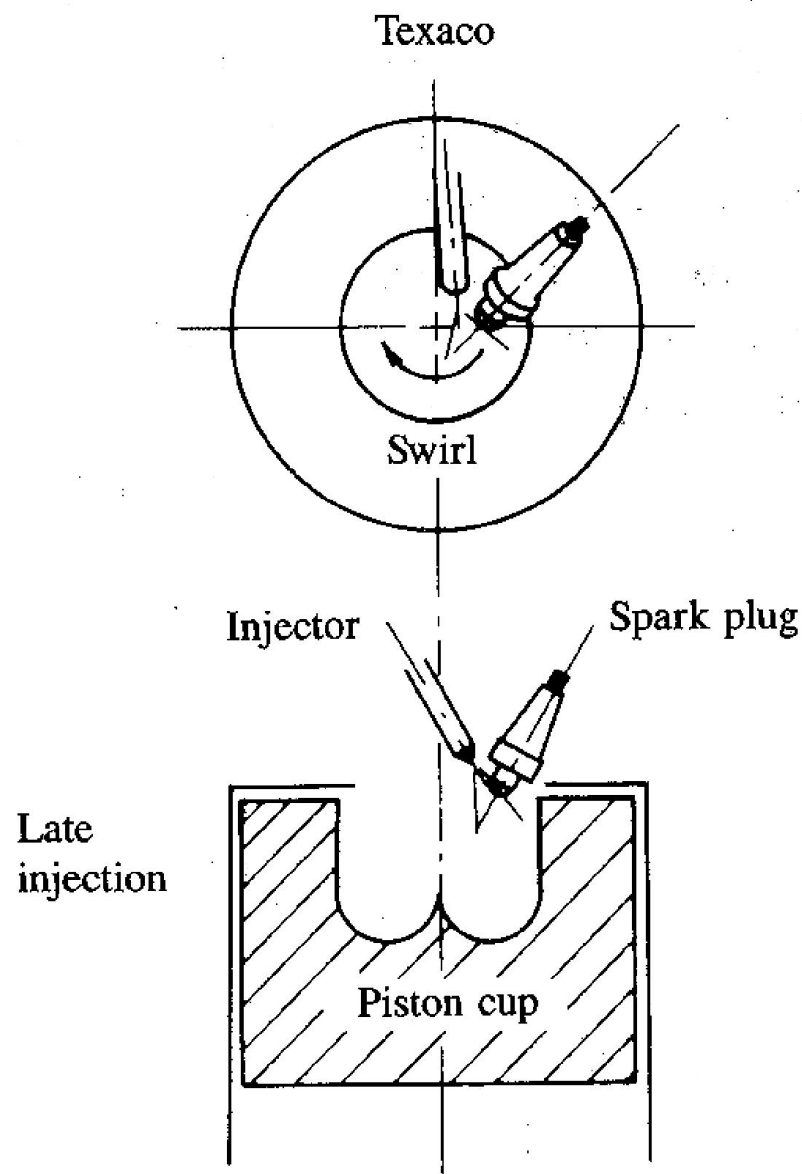
Combustão e Escape

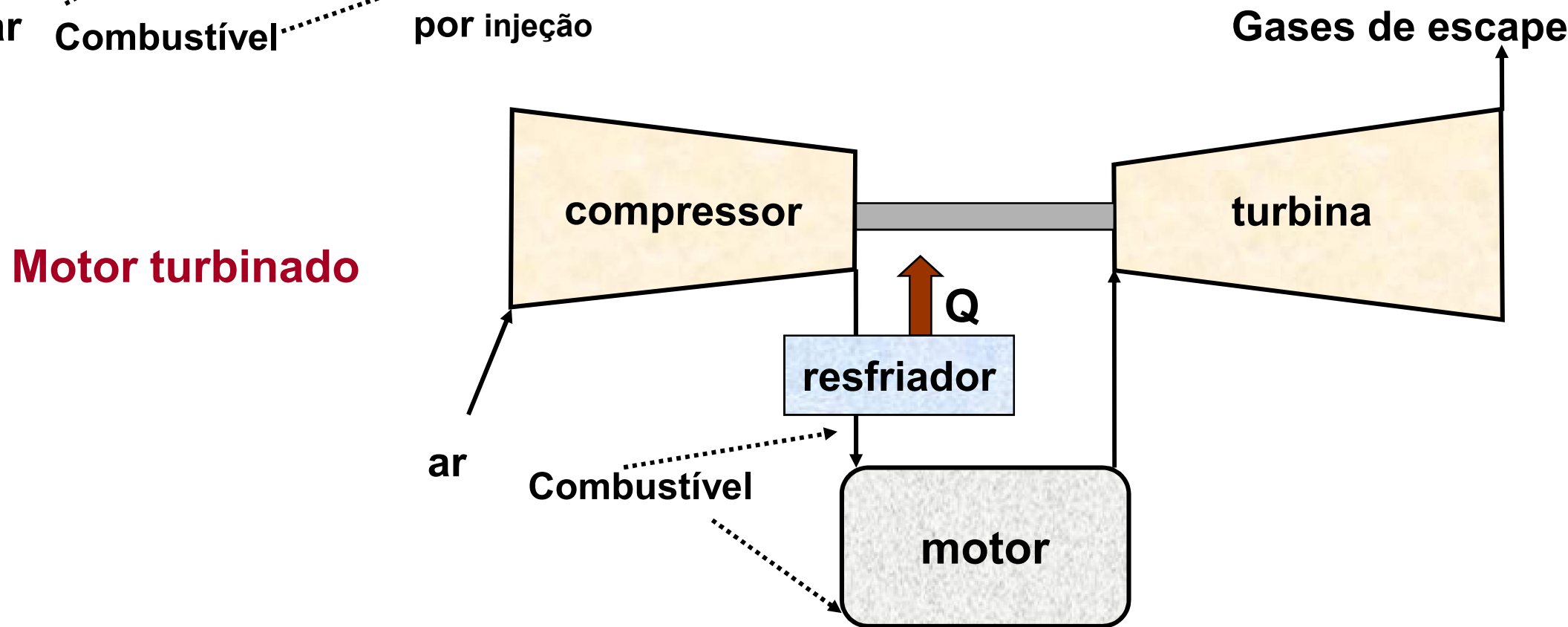
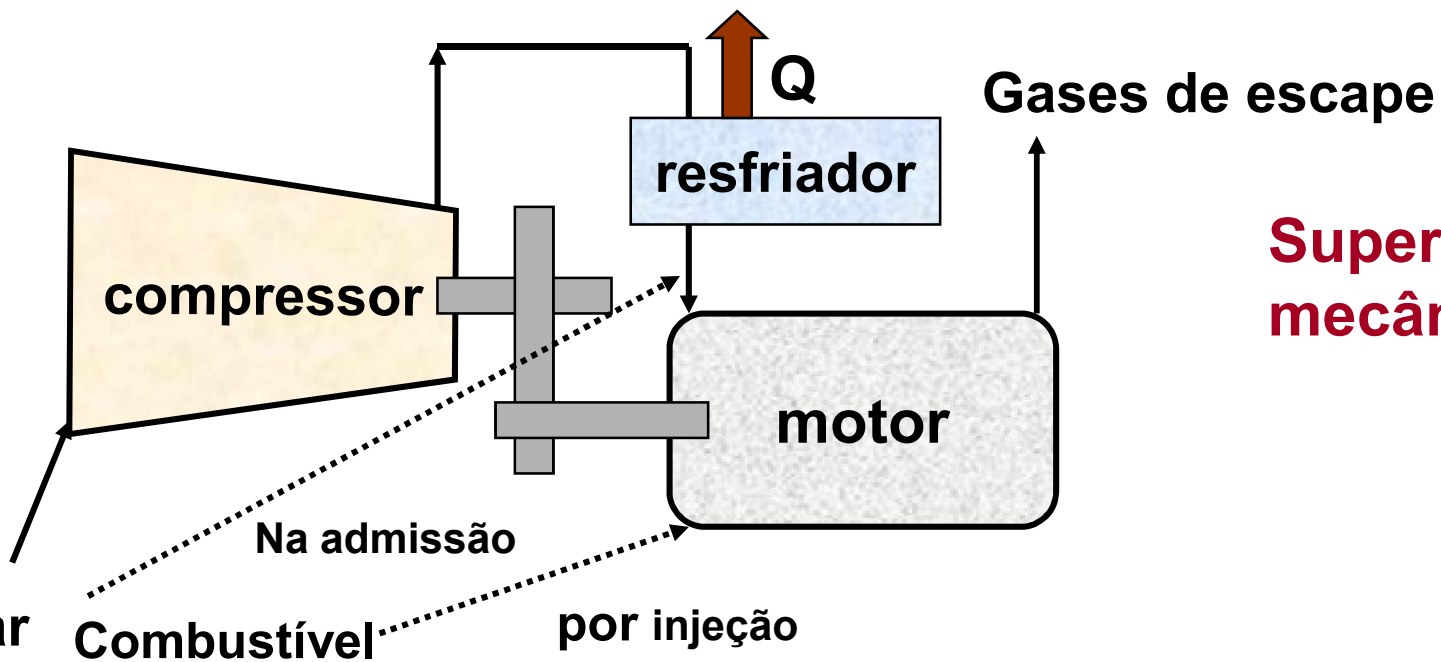
2

Aspiração e Compressão

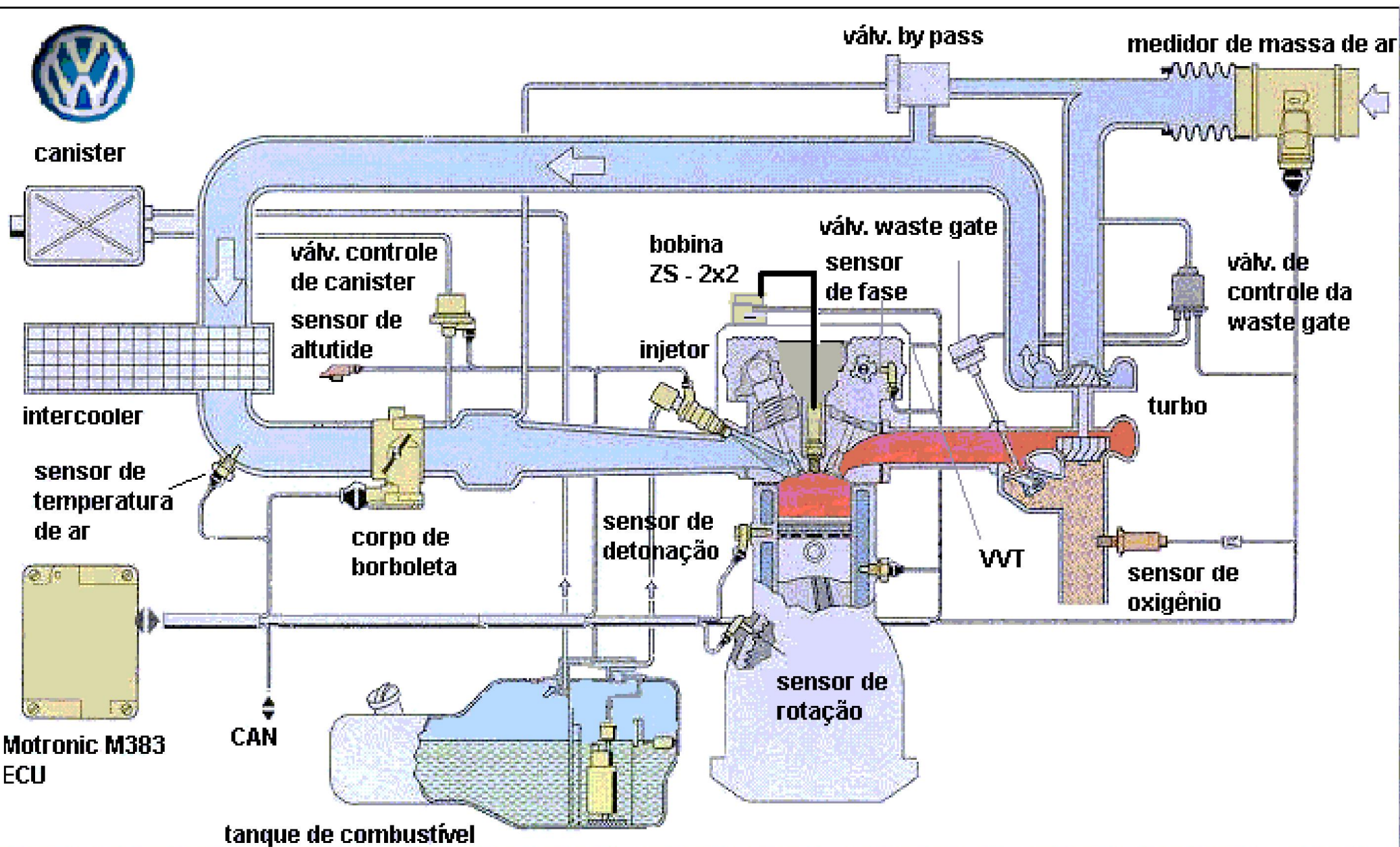
| <b>Ciclo diesel</b>                                                                          | <b>Ciclo Otto</b>                                                                                     | <b>De carga estratificada</b>                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Na compressão, somente ar é comprimido na câmara</b>                                      | <b>Na compressão é comprimida uma mistura de ar + combustível</b>                                     | <b>Motores híbridos, tentam somar as vantagens dos outros dois</b>                                       |
| <b>O ar é comprimido até atingir uma temperatura acima da de auto-ignição</b>                | <b>O ar é comprimido a mais baixas pressões, a temperatura atingida fica abaixo da de autoignição</b> | <b>Trabalha com relação de pressão similar ao Diesel: 12 a 15 (melhora a eficiência)</b>                 |
| <b>O combustível é injetado (quase no final da corrida do pistão) e entra em autoignição</b> | <b>O combustível entra em ignição através de uma faísca</b>                                           | <b>Injeção direta de combustível na câmara de combustão: evita "golpeteo"</b>                            |
| <b>Taxas de compressão altas</b>                                                             | <b>Taxas de compressão mais baixas</b>                                                                | <b>Ignição por centelha, evita ignição espontânea indesejada</b>                                         |
| <b>Aceita combustível menos "nobre" : óleo Diesel ou gás natural + 20% óleo Diesel</b>       | <b>Combustível: gasolina, álcool, gás natural</b>                                                     | <b>O controle de potência do motor é realizado através do controle de combustível injetado por ciclo</b> |
| <b>Ciclo a ar ideal: o calor entra a pressão constante</b>                                   | <b>Ciclo a ar ideal: O calor entra a volume constante</b>                                             | <b>Podem operar com combustíveis menos "nobres"</b>                                                      |

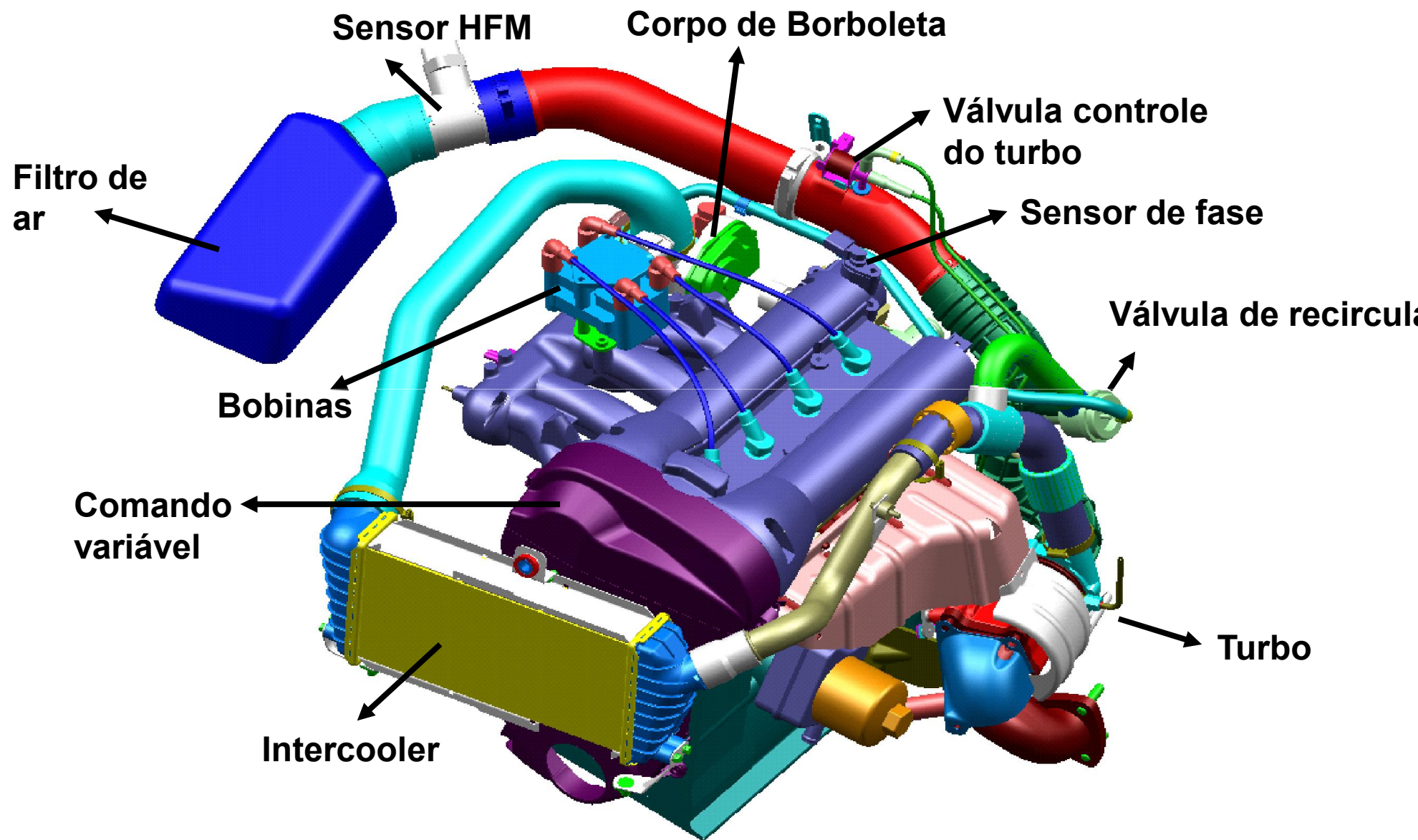
## Câmara de combustão : motor de carga estratificada de injeção direta



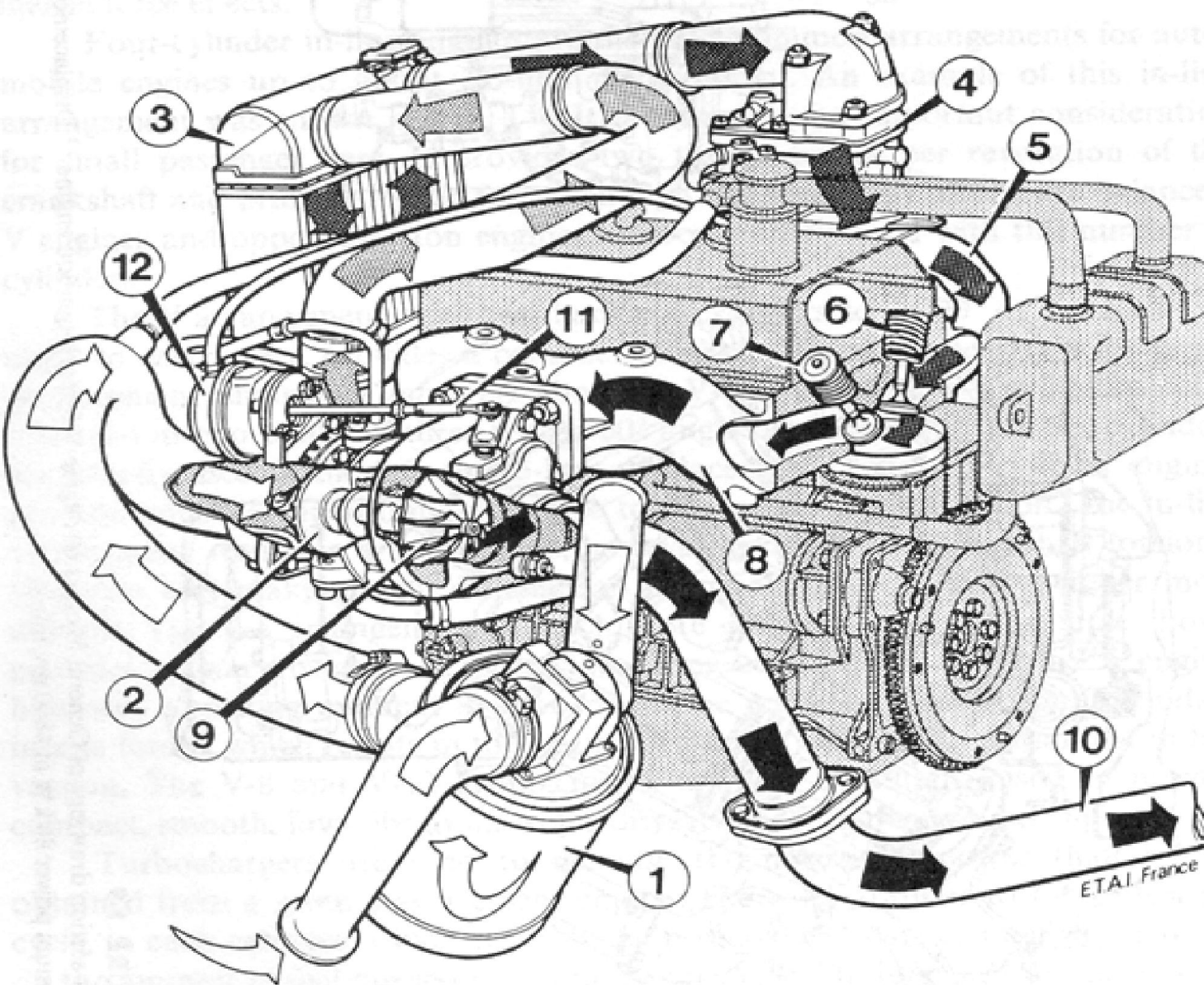


# MOTRONIC M383 turbosystem & variable valve timing (VVT)





## Motor turbinado



1 - entrada ar

2 - compressor

3 - interresfriador

4 - carburador

5 - manifold

6 - válvula de entrada

7 - válvula de saída

8 - manifold

9 - turbina

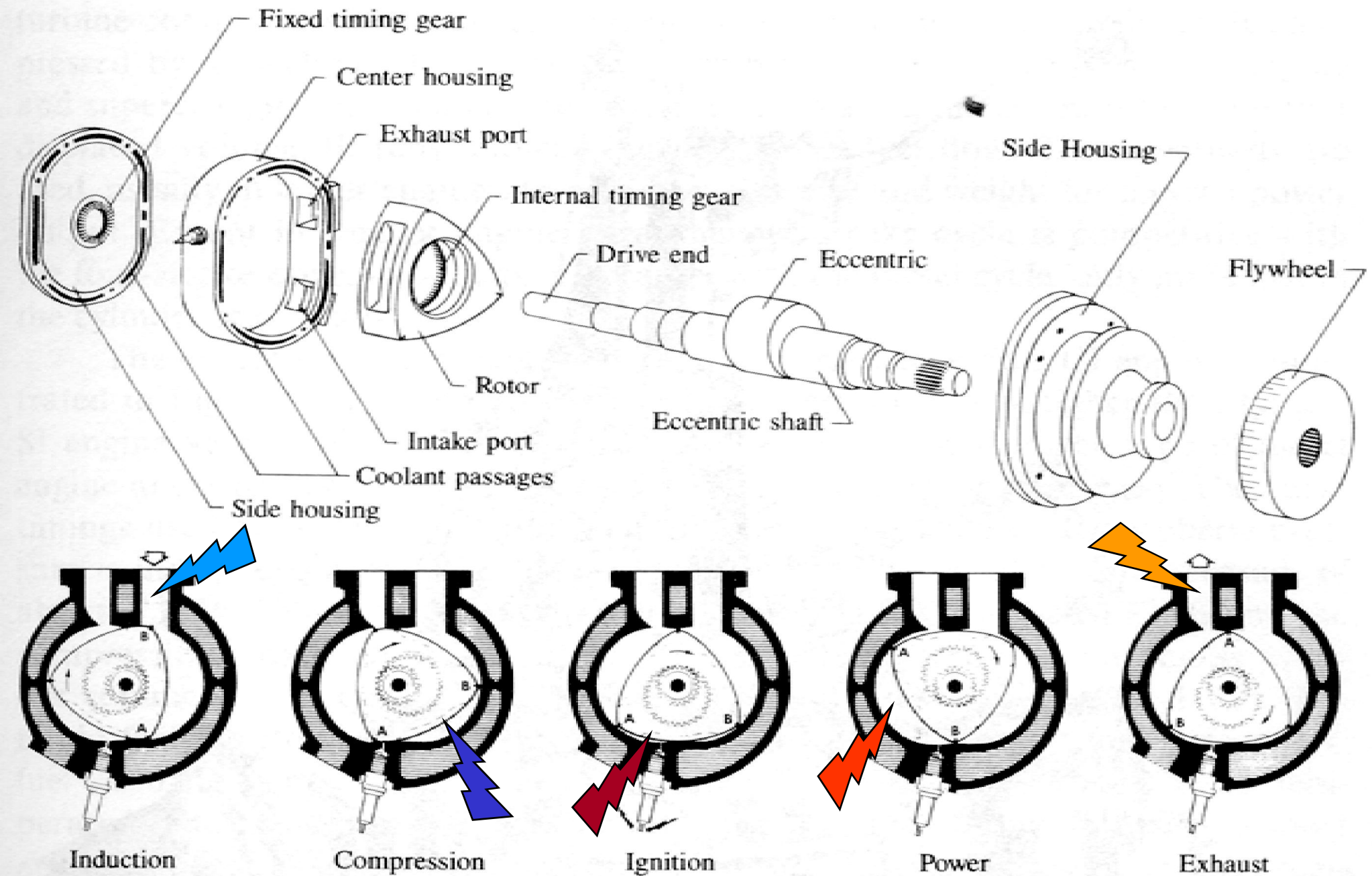
10 - saída dos gases

11 - sistema de controle  
da saída dos gases

12 - regulador de  
pressão

ETAI France

## Motor Wankel , de pistão rotativo



# Motor Wankel



# MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA : áreas em desenvolvimento

## - controle de poluição

### Carros

### Caminhões

| Poluente                              | Impacto               | %<br>(do total)<br>emissões<br>fontes<br>móveis | Emissão<br>em veículos<br>não<br>controlados<br>(g/km) (#) | Redução nos<br>novos<br>motores<br>% | Motores<br>IC<br>(g/km) | Motores<br>Diesel<br>(g/km) |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| NO e NO <sub>x</sub>                  | Névoa,<br>tóxicos     | 40-60                                           | 2,5                                                        | 75                                   | 7                       | 12                          |
| CO                                    | tóxico                | 90                                              | 65                                                         | 95                                   | 150                     | 17                          |
| Hidrocarbo-<br>netos não<br>queimados | névoa                 | 60-80                                           | 10                                                         | 90                                   | 17                      | 3                           |
| Particulados                          | Reduz<br>visibilidade |                                                 | 0,5(*)                                                     | 40                                   | --                      | 0,5                         |

(#) valores médios antes do início da normatização (USA - 1968)

(\*) motores Diesel

- **diminuição do consumo de combustível**
- **novos combustíveis : álcool, gás, biogás, gases pobres, hidrogênio**
- **competitividade no mercado**
- **diminuição de ruído**