

3 – Motores de êmbolos



3.1 – Descrição da tecnologia

Nos motores de êmbolos, usualmente conhecidos como motores de combustão interna, a energia química contida no combustível é convertida em energia mecânica. Se existir um alternador acoplado, esta energia mecânica poderá ser convertida em electricidade.

A mistura ar-combustível antes da combustão e os produtos da combustão são os fluidos de trabalho. A potência mecânica disponível é obtida após ocorrer a transferência de energia entre estes fluidos e os componentes mecânicos do motor.

Existem muitos tipos de motores de combustão interna. Os parâmetros normalmente utilizados para os caracterizar são os seguintes:

1. Aplicação: Transportes, produção de energia eléctrica, cogeração.
2. Desenho do motor: Motores de êmbolos (por sua vez subdivididos em motores em linha, em V, etc.), motores rotativos (tipo Wankel, etc.).
3. Ciclo: Ciclo de quatro tempos ou ciclo de dois tempos.
4. Desenho e localização das válvulas: Overhead, Underhead, válvulas rotativas, etc.
5. Combustível: Gasolina, fuel-óleo, gás natural, GPL, hidrogénio, gasóleo, álcoois, etc.
6. Método de preparação da mistura: Carburador, injeção indirecta, injeção directa.
7. Desenho da câmara de combustão.
8. Método de ignição: Ignição por faísca, ignição por compressão.
9. Método de controlo da carga: controlo do caudal da mistura ar-combustível ou do combustível apenas.
10. Método de arrefecimento: Arrefecimento a água, arrefecimento a ar, etc.

A figura 3.1 representa a geometria básica de um cilindro de um motor de combustão interna.

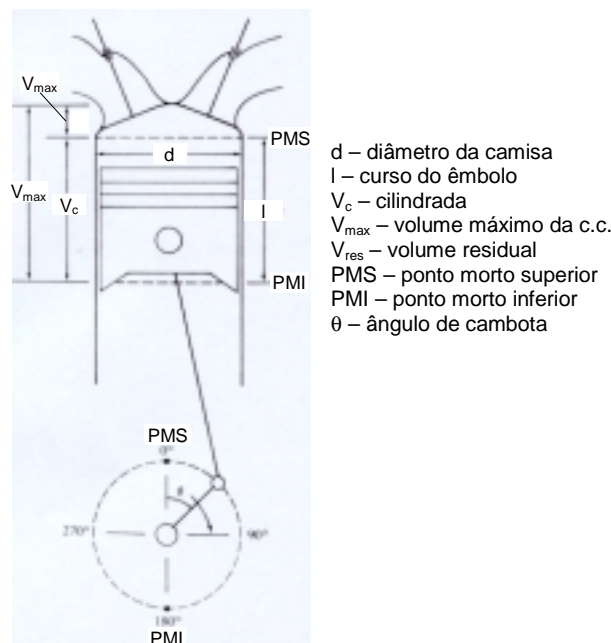


Figura 3.1 – Geometria básica de um cilindro

Os motores de ignição por faísca (ou motores de explosão) funcionam segundo o ciclo Otto e utilizam gasolina ou combustíveis gasosos. Neste tipo de motores a energia de activação necessária para iniciar a combustão é fornecida através da libertação de uma faísca entre os eléctrodos de uma vela.

Nos motores de ignição por compressão, usualmente denominados por motores Diesel, o combustível utilizado é o gasóleo ou um fuel mais pesado (menos refinado). O ar introduzido na câmara de combustão (cilindro) sofre uma compressão muito superior à que ocorre nos motores Otto. Como consequência a sua temperatura atinge um valor suficientemente elevado para iniciar a combustão de uma forma espontânea.

Devido à sua simplicidade, robustez e elevado rácio potência/peso estes dois tipos de motores são utilizados nas mais variadas situações, como por exemplo nos transportes (terrestres, marítimos e aéreos) e na produção de electricidade

A maioria dos motores funciona segundo o ciclo de quatro tempos, conforme representado na figura 3.2.

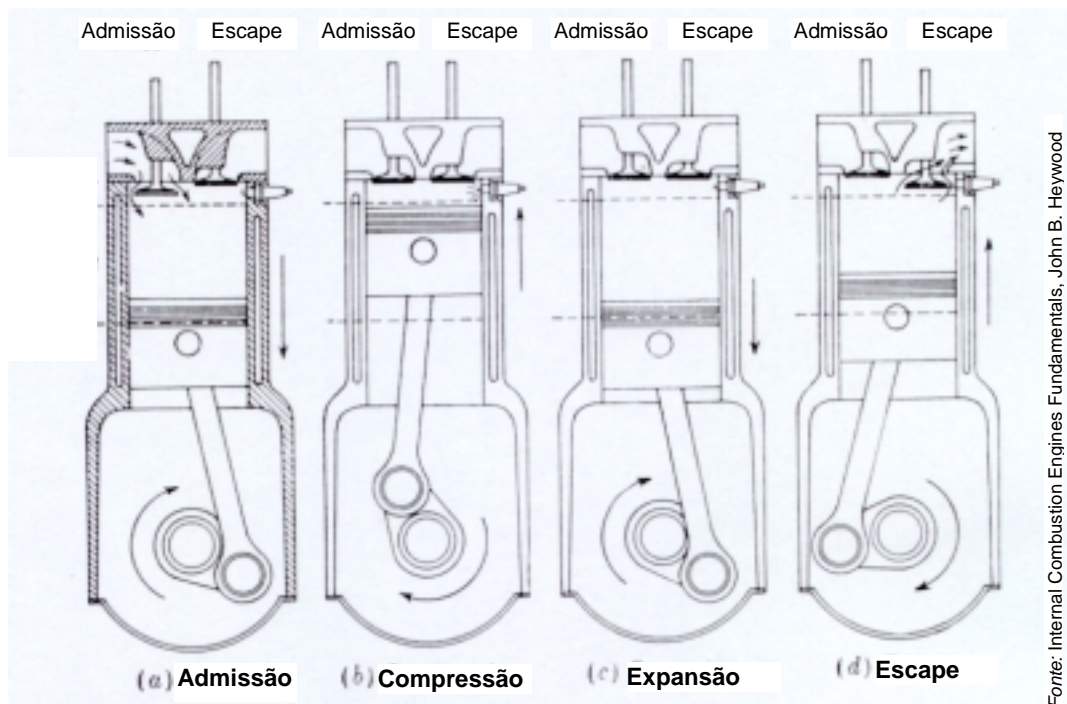
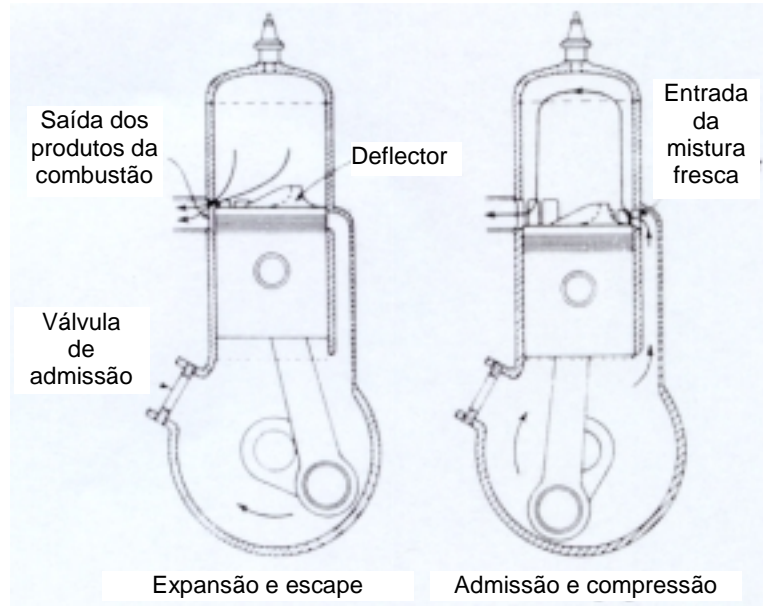


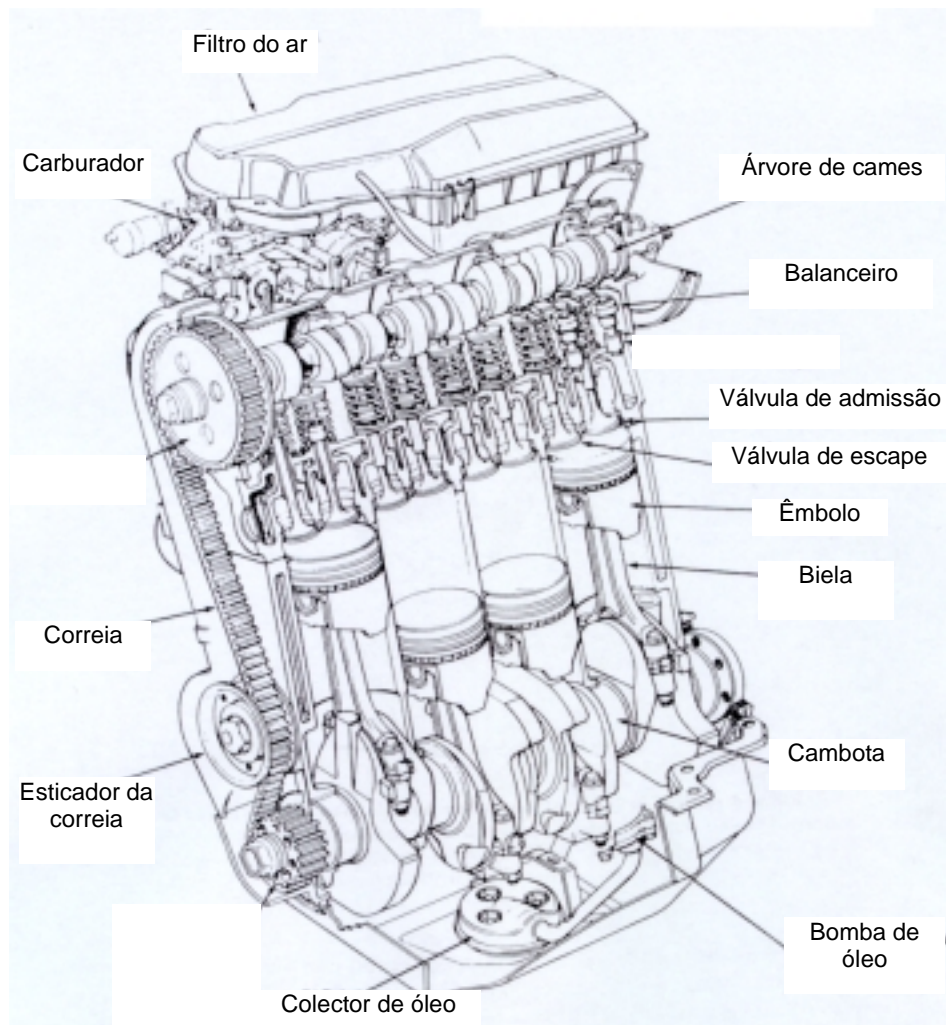
Figura 3.2 – Ciclo a quatro tempos (Otto)

O ciclo de dois tempos foi desenvolvido de forma a obter uma maior potência por unidade de volume do motor e um desenho de válvulas mais simples. A figura 3.3 representa o tipo mais simples de motores de dois tempos.



Fonte: *Internal Combustion Engines Fundamentals*, John B. Heywood

Figura 3.3 – Ciclo a dois tempos



Fonte: *Internal Combustion Engines Fundamentals*, John B. Heywood

Figura 3.4 - Principais componentes de um motor de combustão interna de quatro cilindros e ignição por faísca.

Os cilindros estão contidos no bloco do motor. Tradicionalmente o bloco do motor tem sido construído em ferro fundido devido à sua elevada resistência mecânica e baixo custo. O bloco contém um sistema de canais para passagem da água de arrefecimento.

A cambota é normalmente construída em aço forjado e está apoiada em várias chumaceiras, cujo número depende do número de cilindros do motor. A caixa onde se encontra a cambota é selada por um depósito onde se acumula o óleo de lubrificação, denominado cárter.

Os êmbolos são construídos em alumínio em motores pequenos e rápidos e de ferro fundido nos motores maiores e mais lentos. O êmbolo veda o cilindro e transmite a pressão gerada na combustão à cambota através da biela.

Os segmentos (aros) estão montados em ranhuras existentes nos êmbolos e têm como objectivo ajustar os êmbolos à parede interna do cilindro. Os segmentos superiores, também conhecidos como segmentos de compressão, têm como função vedar a câmara de combustão. Os segmentos inferiores têm um papel essencial na lubrificação e arrefecimento do motor pois são desenhados para espalhar o óleo nas paredes do cilindro durante o movimento alternado do êmbolo.

A cabeça do cilindro (ou cabeças no caso de motores em V) sela as câmaras de combustão e é construída em ferro fundido ou alumínio. Tem que ser resistente e rígida de forma a distribuir de uma forma o mais uniforme possível os esforços resultantes das elevadas pressões que ocorrem dentro das câmaras de combustão. No caso dos motores de ignição por faísca, a cabeça do cilindro contém as velas e as válvulas de admissão e de escape. Nos motores diesel contém o injector de combustível e as válvulas.

A abertura e o fecho das válvulas são controlados pela árvore de cames (também conhecida por veio de excêntricos) cuja rotação depende do movimento da cambota. A árvore de cames pode actuar directamente nas válvulas (sistema DOHC - Direct Over Head Came) ou por intermédio de uma alavanca denominada balanceiro.

Nos motores de ignição por faísca o ar e o combustível são normalmente misturados no sistema de admissão antes de entrar no cilindro. Tal pode ser feito através de um carburador ou através de um sistema de injeção de combustível. Os sistemas de injeção podem ser do tipo monoponto (quando existe apenas um injector para uma conduta comum a todos os cilindros) ou multiponto (quanto cada cilindro é precedido de uma conduta com um injector). A ignição pode ser controlada por um interruptor rotativo denominado distribuidor ou, mais recentemente, através de um sistema electrónico. Existe um instante óptimo para a libertação da faísca de forma a tornar a combustão mais eficiente, instante esse que depende da velocidade de rotação do motor de uma forma não linear. Os sistemas de ignição electrónica permitem tornar os motores mais eficientes já que possibilitam variar o instante de libertação da faísca de forma a que esta seja sempre libertada no instante óptimo.

Nos motores de ignição por compressão o ar é introduzido isoladamente no cilindro e é comprimido atingindo uma temperatura elevada (a taxa de compressão é muito superior nos motores de ignição por compressão do que nos motores de ignição por faísca). Nesse instante o combustível é injectado directamente dentro do cilindro e inflama ao entrar em contacto com o ar quente. O sistema de injeção de combustível num motor Diesel consiste numa bomba de injeção, condutas de distribuição e injectores. A injeção pode ser directa (directamente no cilindro) ou indirecta (injeção numa antecâmara de combustão).

Os turbocompressores são utilizados para aumentar a potência máxima que pode ser obtida num ciclo de combustão e conseqüentemente a potência por unidade de peso do motor. A potência que o motor pode fornecer depende da quantidade de combustível queimado por ciclo e por cilindro. Tal depende da quantidade de ar fresco que é introduzida em cada ciclo. Aumentando a densidade do ar antes da entrada deste no cilindro consegue-se assim aumentar a potência do motor. Um turbocompressor utiliza a energia contida nos gases de escape para accionar um compressor acoplado a um mesmo veio.

Outra forma de aumentar a densidade do ar é diminuir a sua temperatura, o que pode ser conseguido utilizando intercoolers e aftercoolers, que não são mais do que permutadores de calor.

O quadro 3.1 resume as características dos motores de ignição por faísca e por compressão.

Quadro 3.1 – Características dos motores de ignição por faísca e por compressão

Forma de Ignição	Combustíveis	Novas características
Faísca	<ul style="list-style-type: none"> • Gasolina • Álcool (metanol, etanol) • Hidrogénio • Gás natural • GPL • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Turbocompressão • Aftercooling / Intercooling • Gestão electrónica do motor • Manutenção electrónica do motor • Quatro válvulas por cilindro • Válvulas com controlo variável • Injecção directa • Tratamento dos gases de escape
Compressão	<ul style="list-style-type: none"> • Diesel (gasóleo) • Biodiesel • Óleo de pirólise • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Injecção electrónica hidráulica • Injecção mecânica • Mudança de injecção indirecta para directa • Turbocompressão • Aftercooling / Intercooling • Gestão electrónica do motor • Manutenção electrónica do motor • Quatro válvulas por cilindro • Tratamento dos gases de escape

Fonte: "Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications", Arthur D. Little Inc

Os motores de êmbolos para produção de electricidade têm as seguintes características gerais:

- Ignição por compressão ou por faísca
- Ciclo de dois ou quatro tempos
- Arrefecimento a água
- Possibilidade de produção combinada de electricidade e calor
- Gama de potências: 5 kW → 60 MW

Para este tipo de utilização, as necessidades de manutenção actuais e previstas para o ano 2010 estão indicadas no quadro 3.2, segundo Arthur D. Little.

Quadro 3.2 – Intervalos de manutenção actuais (2000) e previstos para 2010

Manutenção	Combustível usado	Potência do motor [kW]	Ano 2000 (horas)	Ano 2010 (horas)
Mudança do filtro de óleo	Gás natural	0 – 400	2000	10000
		401 – 1000	5000	20000
	Diesel	301 – 1000	1000	-
Mudança de óleo	Gás natural	0 – 400	2000	4000
		401 – 1000	2500	5000
	Diesel	301 – 1000	1000	-
Mudança das velas	Gás natural	0 – 400	4000	8000
		401 – 1000	5000	10000
Mudança dos injectores	Diesel	301 – 1000	5000	10000
Revisão geral	Gás natural	0 – 400	48000	75000
		401 – 1000	60000	120000
	Diesel	301 – 1000	20000	30000

Fonte: "Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications", Arthur D. Little Inc

Quadro 3.3 – Necessidades de desenvolvimento na tecnologia dos motores de êmbolos

Necessidades de desenvolvimento	Detalhes
Novos métodos de turbocompressão	<ul style="list-style-type: none"> • Para melhorar o comportamento em funcionamento transiente e em carga elevada
Equipamento de recuperação de calor apropriado para motores de êmbolos	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperação de calor mais eficiente para funcionamento em cogeração
Sistemas de ignição	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de ignição por faísca mais robustos, apropriados para cargas elevadas em aplicações industriais com gás natural • Os futuros motores a gás natural com elevada potência necessitarão uma elevada energia de ignição
Tecnologias de controlo de emissões	<ul style="list-style-type: none"> • Necessárias para satisfazer a regulamentação sobre as emissões • Necessárias de forma a manter a competitividade relativamente às outras tecnologias
Melhoramento da tecnologia dos geradores	<ul style="list-style-type: none"> • A eficiência melhorada do gerador (> 97%) permite converter mais energia mecânica em electricidade
Inversores de frequência	<ul style="list-style-type: none"> • Produzem a frequência de saída desejada sem haver a necessidade de controlar com precisão a velocidade do motor
Controlo / sensores	<ul style="list-style-type: none"> • Controlos inteligentes de forma a melhorar o diagnóstico do motor e a monitorização remota
Taxas de compressão mais elevadas para motores a gás natural	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora a eficiência da combustão • Aumenta a potência
Desenho dos motores a gás natural	<ul style="list-style-type: none"> • Melhor desenho da cabeça dos cilindros de forma a melhorar a mistura ar-combustível. Actualmente são usadas cabeças de cilindro de motores Diesel.

Fonte: "Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems in Industrial Applications", Arthur D. Little Inc

3.2 – Fabricantes e produtos

A maioria dos fabricantes possui uma gama muito completa de motores abrangendo um vasto leque de potências. Apresenta-se no quadro 3.4, de uma forma resumida, a oferta existente por parte dos principais fabricantes.

Quadro 3.4 – Resumo de fabricantes e produtos

Fabricante	Tipo de combustível					Gama de potências [MW]													
	Diesel	Heavy Fuel	Dual Fuel	Gás Natural	GPL	0	0.25	0.50	0.75	1.0	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	
Caterpillar	•			•		[Micro-geração]													
Coltec Industries	•	•	•	•		[Micro-geração]													
Cooper Cameron	•		•	•	•	[Micro-geração]													
Cummins	•			•	•	[Micro-geração]													
Daewoo	•					[Micro-geração]													
Daihatsu	•					[Micro-geração]													
Deere & Co.	•			•		[Micro-geração]													
Detroit Diesel	•			•		[Micro-geração]													
Deutz AG	•			•	•	[Micro-geração]													
EMD GM	•					[Micro-geração]													
Fiat / Iveco	•					[Micro-geração]													
Ford Power	•			•	•	[Micro-geração]													
GEC Alsthom	•	•	•	•		[Micro-geração]													
GM Powertrain	•			•	•	[Micro-geração]													
Isuzu	•					[Micro-geração]													
Jenbacher				•	•	[Micro-geração]													
Komatsu	•					[Micro-geração]													
Kubota	•					[Micro-geração]													
MAN	•		•	•		[Micro-geração]													
Mercedes-Benz	•					[Micro-geração]													
Mitsubishi	•			•		[Micro-geração]													
MTU	•					[Micro-geração]													
Niigata	•		•	•		[Micro-geração]													
Perkins	•			•	•	[Micro-geração]													
Peugeot / Citroen	•					[Micro-geração]													
Powerline Systems				•		[Micro-geração]													
Rolls Royce	•					[Micro-geração]													
SEMT Pielstick	•	•				[Micro-geração]													
SenerTec				•		[Micro-geração]													
Scania	•					[Micro-geração]													
Volvo Penta	•			•		[Micro-geração]													
Waukesha				•		[Micro-geração]													
Wartsila	•			•		[Micro-geração]													
Yanmar	•					[Micro-geração]													

Fonte: "Opportunities for Micropower and Fuel Cell / Gas Turbine Hybrid Systems In Industrial Applications", Arthur D. Little Inc (adaptado)

Existem motores de êmbolos para geração de electricidade para todo o tipo de aplicações, desde a indústria até a uma simples residência unifamiliar. Tentar expor as características técnicas de todos os modelos disponíveis seria uma tarefa interminável, sendo essa a razão pela qual optou por apresentar a informação de uma forma muito resumida no quadro anterior. Para informação detalhada poderão ser consultados directamente os fabricantes ou distribuidores através dos contactos disponibilizados em anexo.

No entanto parece interessante notabilizar o facto de que recentemente vários fabricantes de motores apostaram no desenvolvimento de pequenos módulos de micro-(co)geração equipados com motores de potência reduzida, capazes de satisfazer a totalidade das necessidades de electricidade e calor de uma casa unifamiliar ou, no caso de montagem de vários módulos, de um edifício residencial multifamiliar, de um hotel ou de uma pequena empresa.

Um exemplo desses equipamentos é o proposto pela SenerTec, cujas características gerais estão indicadas no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 – Características gerais de módulos compactos para micro-cogeração residencial

Fabricante / Produto	Potência eléctrica	Rendimento eléctrico	Potência Térmica	Rendimento cogeração	Combustíveis	Dimensões	Peso
SenerTec / HKA	5.5 kW	27 %	12.5 kW	90 %	Gás natural; GPL; Biodiesel; fuel óleo	1060 x 720 x 1000	520 kgf