



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Motores de Combustão Interna

Relatório

Ana Paula Fernandes Miranda

Hamilton

João Pedro Oliveira Reis

Tânia de Lurdes Ferreira Azevedo

Tiago Valente Guedes Ferreira Luís

Docente/Orientador: Professor José Ferreira Duarte

Outubro de 2009

Resumo

Este relatório reporta um trabalho realizado acerca dos motores de combustão interna.

Étienne Lenoir foi o inventor do 1º motor de combustão interna (1860), usando uma mistura de gás de carvão e ar no ciclo do motor.

Este motor é uma máquina térmica onde a energia proveniente de uma reacção química é transformada em energia mecânica. É assim denominado porque a sua combustão ocorre numa câmara que contém um pistão que influencia o seu movimento.

O funcionamento destes motores rege-se por ciclos termodinâmicos, dos quais podem ser destacados os motores a quatro e a dois tempos. São máquinas bastante complexas, com muitos constituintes, cada um com a sua função, no entanto, como qualquer conjunto, são interdependentes.

É conhecido o grande impacto ambiental deste tipo de máquinas. À medida que vamos avançando no tempo, cientistas e engenheiros trabalham em busca de melhores motores, mas também de motores menos poluentes, que contribuem para um ambiente mais limpo. De louvar também o trabalho de várias instituições no sentido de realizar acordos entre os países que se comprometem a reduzir a emissão de poluentes.

Palavras-Chave

Cárter – Constitui a parte inferior do motor. Geralmente é uma peça de aço estampado para resistir aos choques.

Culassa – Também conhecida por cabeça do motor, esta estrutura encontra-se no topo do motor. O material mais usado no seu fabrico são as ligas de alumínio, visto que são fáceis de trabalhar, são leves e têm uma boa condutibilidade térmica;

Bloco – Parte estrutural do motor. Antigamente era fabricado em ferro fundido, agora usam-se ligas leves para redução do peso e melhorar a transferência de calor;

Pistão – Devido às grandes velocidades, pressões e temperaturas a que é submetido, é considerada das peças que maior esforço tem de realizar. Transmite força (da ordem das toneladas) à biela;

Manivela – Também conhecida por cambota, esta tem que transformar o movimento do pistão em movimento de rotação;

Biela – Esta peça tem como função transformar o movimento alternativo do pistão em movimento de rotação da cambota;

Válvulas – As válvulas são peças que permitem a entrada e/ou saída dos gases da câmara de combustão pelo colector de admissão e de escape, respectivamente.

Índice

Resumo	2
Introdução.....	5
Motores de Combustão Interna	
→História/Evolução do Motor	6 e 7
→Aplicações	8
→Constituintes/Princípios de Funcionamento	
–Análise de Ciclos	9, 10, 11 e 12
–Descrição dos Motores	13, 14 e 15
–Tipos de Motores	16,17,18, 19 e 20
–Combustíveis	21,22 e 23
→Impactos ambientais/Alternativas	24 e 25
Conclusão	26
Bibliografia	27
Sitiografia.....	28

Introdução

Este trabalho foi realizado com o objectivo de dar a conhecer todo o contexto histórico e científico que envolve os motores de combustão interna. Para isso, realizámos um exaustivo trabalho de pesquisa de forma a poder focar todos os aspectos essenciais à abordagem do tema proposto.

Durante o processo de investigação surgiram-nos algumas dúvidas às quais procuramos responder de forma a podermos não só adquirir o conhecimento, como também transmiti-lo.

Pontos de importante relevo:

- Como surgiram e evoluíram os primeiros motores?
- Qual a sua constituição?
- Como funcionam?
- Qual o impacto ambiental dos motores de combustão interna?

Ao longo do trabalho procurámos responder às perguntas anteriormente assinaladas da forma mais completa possível e pormenorizada no intuito de esclarecer e informar ao máximo todos os que o forem ler e/ou ver.

Motores de Combustão Interna

História/Evolução do Motor

O francês Nicolas Diogo Léonard Sadi Carnot, desenvolveu em 1824 a teoria fundamental dos motores de combustão interna de dois tempos, enquanto a patente do primeiro motor de combustão interna foi desenvolvida por Samuel Morey nos Estados Unidos, em 1826.

Em 1859, Etienne Lenoir, desenvolveu a conversão de um motor a vapor, como podemos observar na figura 1. Era um motor de dupla acção, isto é, as forças da combustão actuavam alternadamente de um lado e do outro do pistão.

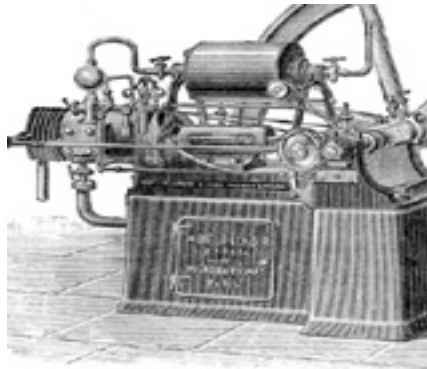


Fig. 1 - Primeiro motor de Lenoir;

De 1833 a 1895 Lenoir desenvolveu o primeiro motor a pistão que foi comercializado. Uma característica singular deste motor, como já foi dito, é que a combustão acontecia dos dois lados do pistão. O controlo de entrada e saída dos gases realizava-se por meio de válvulas de admissão e exaustão.

O princípio de funcionamento deste motor era o seguinte: gás e ar eram introduzidos no pistão durante a primeira metade do deslocamento do mesmo. A carga era então queimada mediante uma faísca, a pressão aumentava e os gases queimados empurravam o pistão até o fim do curso do mesmo. Na segunda batida do pistão, os gases de exaustão eram expelidos, enquanto uma nova combustão acontecia do outro lado do pistão.

O ciclo era completado com uma segunda batida do pistão, de exaustão. 5000 destes motores foram construídos entre 1860 e 1865, com uma potência de até 6 HP. O melhor valor obtido da eficiência foi em torno dos 5%.

O motor com a melhor taxa de sucesso foi desenvolvido por Nicolaus Otto entre 1832 e 1891 e Eugen Langen entre 1833 e 1895, na Alemanha. E foi mais tarde em 1867 que surgiu a sua apresentação em Paris na Exposição Industrial.

O conceito deste motor era o de "pistão livre", sendo este pistão impulsionado pela explosão dos gases no cilindro, o pistão estava ligado a um volante através de

uma cremalheira e uma engrenagem. No retorno do pistão era produzido trabalho mecânico.

O movimento do volante produzia por sua vez a abertura e fecho de uma válvula de admissão e de ignição. Também neste caso não havia compressão dos gases antes da combustão.

Foram construídos 10.000 motores deste tipo, e dominaram o mercado até a introdução do motor Otto de quatro tempos. A eficiência do motor de Otto era de 11%.

Em 1876, Nicolaus Otto, com o motor de quatro tempos, reduziu para 1/3 o peso do motor e para 1/16 o curso do pistão, a eficiência aumentou para 14%.

No ano de 1880, Dugald Clerk e James Robson (ingleses) e Karl Benz(alemão), desenvolveram o motor de dois tempos.

Rudolf Diesel, patenteou o motor de ignição por compressão em 1892, no entanto este demorou 5 anos para desenvolver um protótipo comercial. Podemos visualizar esse motor na figura 2.



Fig.2 - Motor original de Rudolf Diesel, o primeiro motor a diesel;

Aplicações

Os motores de combustão interna têm diversas aplicações e são muito utilizados actualmente ao serviço da tecnologia e do desenvolvimento da mesma. São usados principalmente na indústria rodoviária, nos automóveis, motos e camiões mas também em aviões e navios, como se pode observar nas figuras 3 e 4). Podem ser encontrados também noutros campos, como na produção de electricidade e no bombeamento de água tal como se pode observar na figura 5 e 6). Embora estes não consigam competir com as turbinas dos aviões e os motores nucleares dos navios de grande porte, não têm concorrência na estrada. Bastante importante fazer referência também ao aumento do rendimento do motor ao longo do tempo e à diminuição de gases poluentes expelidos pelo mesmo, que é cerca de 100 vezes inferior aos de 40 anos atrás.



Fig.3 – Carro;



Fig.4 – Avião;



Fig.5 – Gerador;



Fig.6 – Bombeamento de Água;

Constituintes/Princípios de Funcionamento

Análise de Ciclos

Quanto aos ciclos termodinâmicos destacam-se os seguintes: ciclo de Otto, ciclo de Diesel e ciclo de Brayton.

- **Ciclo de Otto**

O ciclo ideal de Otto é constituído pelos seguintes processos

1. Admissão (0-1)
2. Compressão (1-2)
3. Combustão (2-3) e expansão (3-4)
4. Abertura de válvula (4-5) e exaustão (5-0)

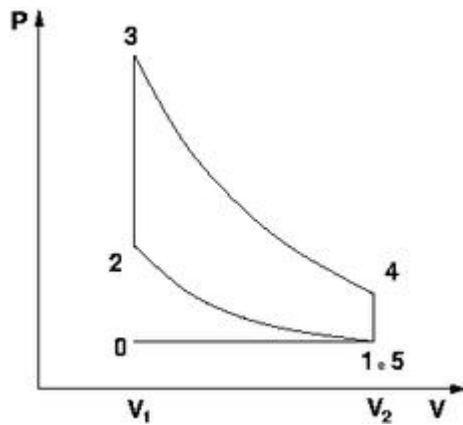


Gráfico I - Ciclo ideal de Otto

As várias fases do ciclo de Otto são:

- I. Com o pistão no ponto morto superior (PMS) é aberta a válvula de admissão, sendo que a válvula de escape fica fechada. A mistura gasosa é regulada pelo sistema de alimentação, que pode ser por carburador ou injeção eletrónica, que permite respostas mais rápidas por parte do motor. O êmbolo é impulsionado para baixo pelo veio de manivelas, move-se então até ao ponto morto inferior (PMI). A esta 1ª fase dá-se o nome de admissão.
- II. A válvula de admissão fecha-se, ficando o cilindro cheio com a mistura gasosa, que é agora comprimida pelo pistão, impulsionado no seu sentido ascendente em direcção à cabeça do motor pelo veio de manivelas até atingir de novo o PMS. Durante este movimento as duas válvulas se encontram fechadas. A esta 2ª fase dá-se o nome de compressão.

- III. Quando o pistão atingiu o PMS, a mistura gasosa que se encontrava comprimida na câmara de combustão é inflamada devido a uma faísca produzida pela vela e explode. O posterior aumento de pressão destes gases empurra o êmbolo até ao PMI, impulsionando desta maneira o veio de manivelas e produzindo a força rotativa necessária ao movimento do eixo do motor. A este 3ª fase dá-se o nome de explosão.
- IV. O cilindro, cheio de gases queimados, faz com que o êmbolo tome o seu movimento ascendente e que a válvula de escape abra, permitindo que saiam para a atmosfera todos os gases comprimidos pelo êmbolo, havendo depois o posterior fecho da válvula de escape. A esta 4ª fase dá-se o nome de escape.

O ciclo de Otto vigora actualmente na maioria dos automóveis e utiliza combustíveis leves como gasolina, gasóleo e gás natural, distingue-se pela sua ignição por faísca.

- **Ciclo de Brayton**

No modelo de ciclo, o fluido de trabalho passa pelas seguintes etapas:

1. Compressão (1 – 2)
2. Transferência de calor da câmara de combustão (2 – 3)
3. Expansão (3 – 4)
4. Transferência de calor para o ambiente (4 – 1)

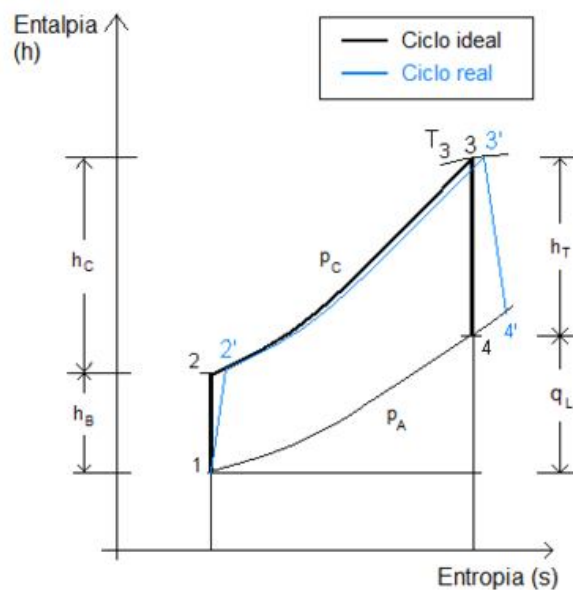


Gráfico II - Ciclo de Brayton

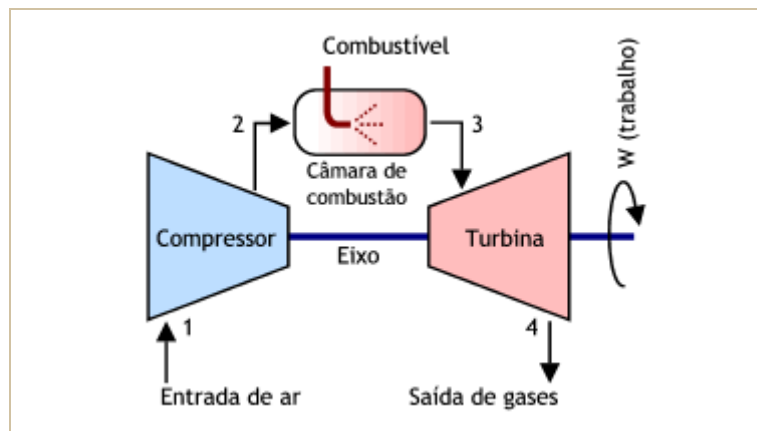


Fig. 7 – Ilustração do Ciclo;

De forma mais explícita:

Entre 1 e 2 o ar é comprimido por um compressor do tipo axial.

Ao passar pela *câmara de combustão* (2 a 3), ar expande-se graças ao fornecimento de calor pelo processo de combustão. Isto ocorre sob pressão constante porque a forma da câmara oferece pouca resistência ao fluxo.

O ar aquecido pela combustão movimenta a turbina (de 3 a 4).

Ao sair da turbina, o ar troca calor com o ambiente num.

As turbinas a gás são usadas, normalmente, em aviões e na geração de energia eléctrica.

O ciclo de Brayton, compreende as mesmas quatro fases que os ciclos de Otto e Diesel, no entanto, ao invés de estas ocorrerem todas na mesma câmara e em tempos diferentes, ocorrem ao mesmo tempo em locais distintos.

- **Ciclo de Diesel**

1. Compressão (1,2)
2. Fornecimento de calor a pressão constante (2,3)
3. Expansão (3,4)
4. Cedência de calor a volume constante (4,1)

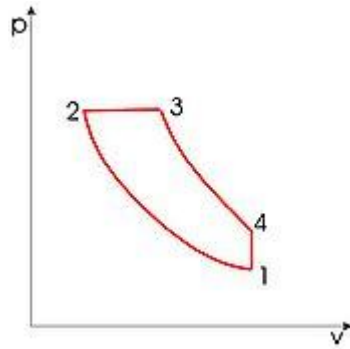
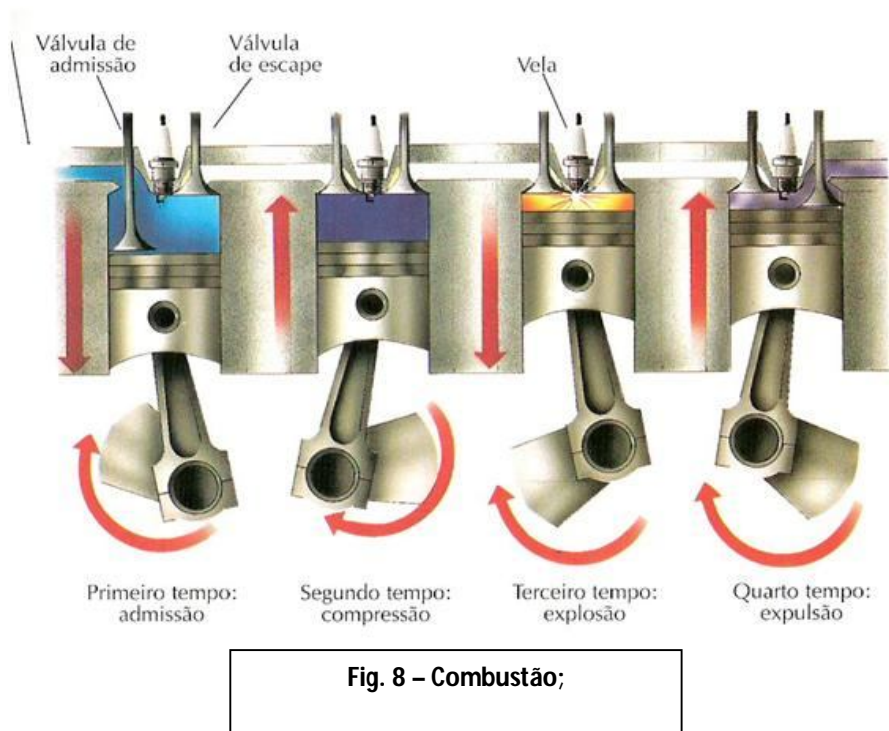


Gráfico III - Ciclo diesel num diagrama p-v.

O ciclo de Diesel está presente em veículos de grande envergadura, tais como camiões e navios. Neste processo o fluido de trabalho utilizado costuma ser o ar, este é comprimido, juntando-se-lhe de seguida o combustível que se inflama ao contactar com o fluido sujeito a valores de pressão e temperatura elevados.

Descrição dos Motores

Desde que foram inventados até aos dias de hoje, os motores de combustão interna têm evoluído bastante. O rendimento dos mesmos tem aumentado e é possível observar um grande decréscimo da poluição provocada por este, e isto deve-se ao trabalho conjunto de vários profissionais especializados. No entanto, há «pormenores» que se têm mantido semelhantes (à excepção de alguns motores, como os rotativos e o de êmbolos livres), como o sistema biela-manivela e o facto da energia fornecida ao motor ser feita através da inserção de combustível na câmara de combustão, por exemplo. O motor é, principalmente, constituído por três partes: a culassa ou cabeça, o bloco e o cárter, e pode ser constituído por 1 ou por vários cilindros. Motores monocilíndricos são usados em motas de baixa cilindrada como as 50cm³, em aviões telecomandados ou em tractores de pequeno porte. No motor podem-se identificar várias peças que são essenciais ao seu funcionamento, como a biela, a manivela e o pistão, a válvula de admissão por onde entra o ar e o combustível e a de escape, por onde saem os produtos da combustão, a vela para iniciar a combustão, a árvore de cames, e o cilindro onde quase todo o processo ocorre, como se pode observar na figura 8, entre outros. O sistema biela-manivela é dos mais importantes nesta máquina e é constituído pelos pistões, bielas e manivelas ou cambotas. Este serve para transformar a energia térmica, proveniente da combustão em trabalho através do movimento das peças constituintes, resultante da pressão da combustão. O sistema de distribuição assume também uma grande importância visto que controla a abertura e fecho das válvulas, sendo portanto o responsável pela consequente entrada e saída dos gases do cilindro. É constituído pela árvore de cames, que pode estar colocada na culassa, sendo que a abertura das válvulas é feita directamente, ou estar colocada lateralmente, e ser necessário que o movimento desta seja transferido através dos impulsores e das varetas, que actuam sobre os balanceiros, abrindo as válvulas.



O sistema de arrefecimento é outro com uma função crucial para o bom desempenho do motor de combustão interna. A combustão implica o aumento da temperatura na ordem dos 2000°C, logo é preciso que alguns componentes sejam sujeitos a um arrefecimento. Existem 2 tipos de arrefecimentos, arrefecimento a ar e circulação líquida. Para evitar a gripagem (quando os materiais atingem o ponto de fusão) dos materiais provocada pelo aumento da temperatura resultante do atrito entre estes, é necessária a aplicação de lubrificantes. Estes têm como objectivo impedir o contacto entre as superfícies reduzindo as perdas mecânicas e ajudar a estanqueidade e refrigeração do pistão, mas também das válvulas, da árvore de cames ou os apoios da cambota. A vela é um elemento com uma grande preponderância no motor visto que é esta que inicia a combustão que ocorre no cilindro, fazendo saltar uma faísca. Todos os elementos referidos anteriormente e mais alguns podem ser observados na figura 9 apresentada abaixo.

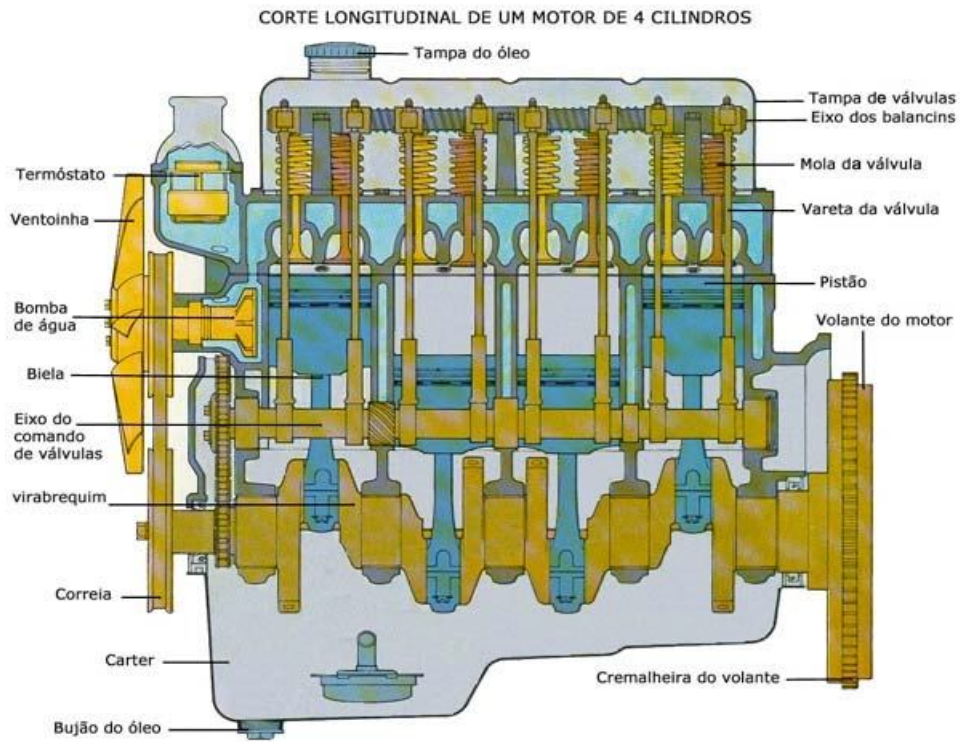


Fig.9 – Estrutura do Motor de Combustão Interna;

Tipos de Motores

Motores alternativos

Este tipo de motores caracteriza-se por realizar movimentos cíclicos de translação (êmbolo movimenta-se dentro do cilindro); classificam-se pelo número de tempos em que realizam as fases admissão, compressão, combustão e exaustão.

Sendo assim, distinguem-se dois tipos de motores: motores de dois tempos e motores de quatro tempos.

O processo realizado nos motores de quatro tempos, pode ser realizado do seguinte modo:

- No primeiro tempo, realiza-se a admissão: em que a mistura ar/combustível é aspirada para o cilindro aquando da descida do pistão ou êmbolo, tal como se pode observar na figura seguinte:

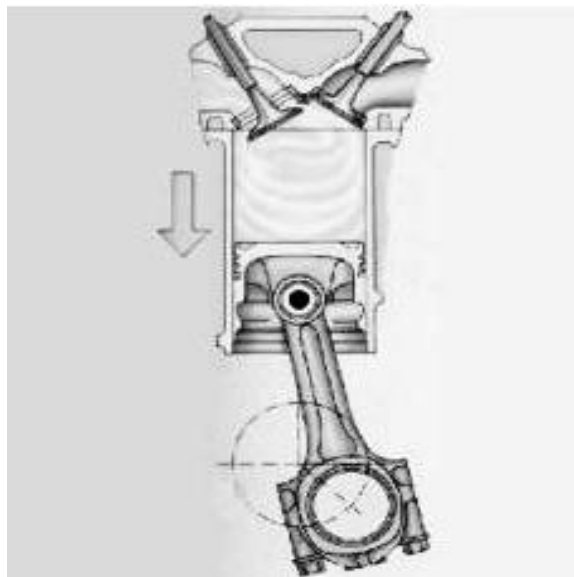


Fig.10 - Primeiro tempo do processo que se realiza num motor de quatro tempo: admissão;

- No segundo tempo, tal como ilustra a Figura 2, ocorre a compressão, o pistão comprime a mistura:

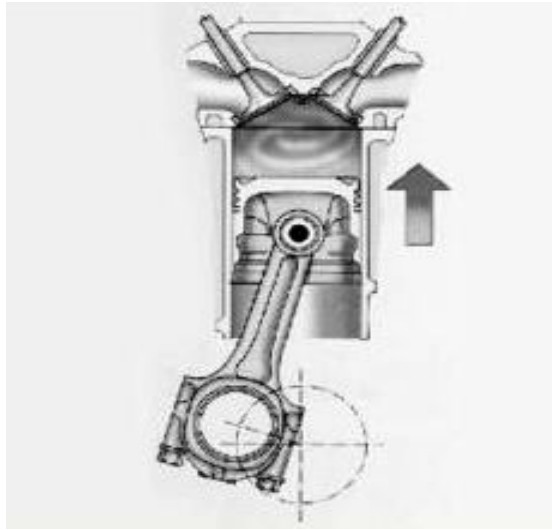


Fig.11 – Segundo tempo do processo que ocorre em motores de 4 tempos: compressão;

- No terceiro tempo, a combustão, o eléctrodo da vela de ignição solta uma centelha, inflamando a mistura, tal como se observa na figura 3:

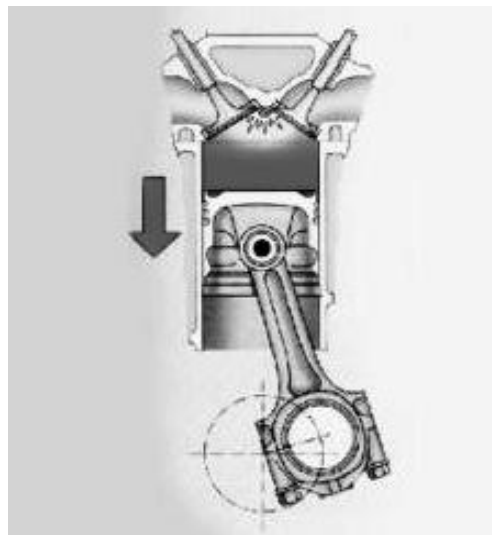


Fig.12 – Terceiro tempo do processo que ocorre em motores de 4 tempos: combustão;

- Tal como se pode apreender pela observação da figura seguinte, no quarto tempo, a exaustão, o pistão empurra os gases resultantes da combustão que saem do cilindro para o colector de escape:

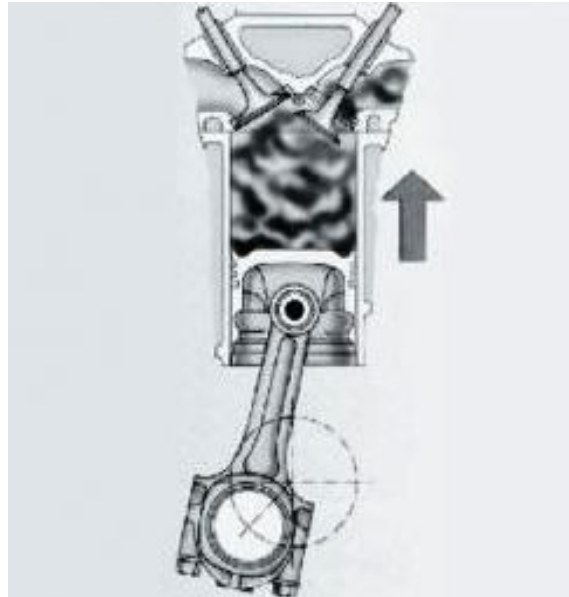


Fig.13 – Quarto tempo do processo que ocorre em motores de 4 tempos: exaustão;

Num motor de dois tempos semelhante ao da figura 4, o processo é descrito da seguinte forma:

- No primeiro tempo, compressão/admissão, o pistão realiza movimento ascendente, comprimindo a mistura que já se encontra na câmara de combustão (compressão), o êmbolo abre a janela de admissão, aspirando-se a mistura ar/combustível que se encontrava no carburador, entrando no cárter, onde a subida do pistão provocou um efeito de vácuo (admissão) (observar figura 5).
- No segundo tempo, combustão/exaustão, quando o pistão atinge o ponto morto superior, (ou seja, o ponto mais alto do seu movimento de translação) a vela liberta uma faísca, dando-se a combustão e quando o pistão realiza o movimento descendente, os gases são expelidos (exaustão) (observar figura 6).

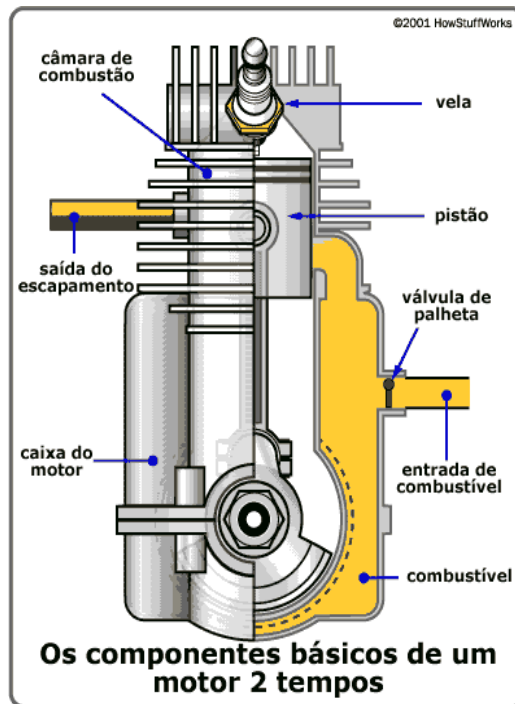


Fig.14 – Componentes básicos de um motor de 2 tempos;



Fig.15 – Primeiro tempo do processo que ocorre em motores de dois tempos: compressão/ admissão;

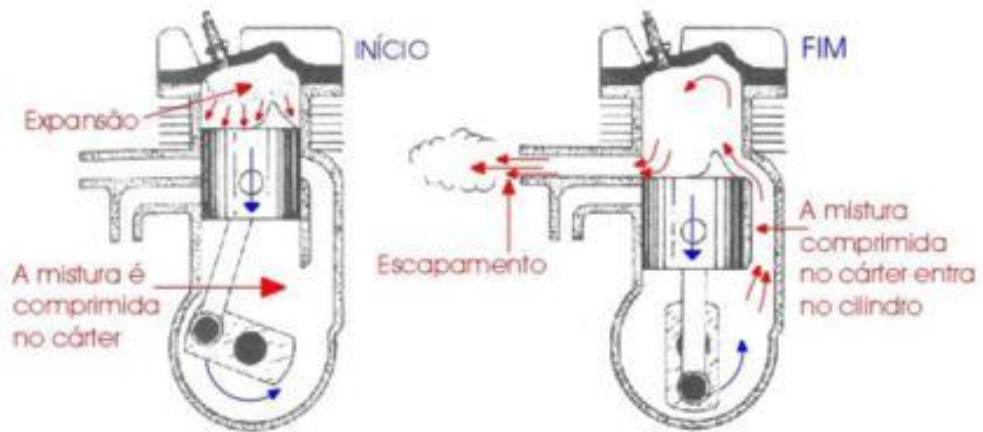


Fig.16 – Segundo tempo do processo que ocorre em motores de dois tempos: combustão/ exaustão;

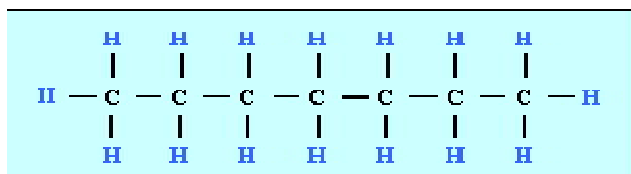
Combustíveis

De um modo geral denomina-se combustível qualquer corpo cuja combinação química com outro seja exotérmica. A maior parte dos combustíveis são o resultado de mais de 100 compostos. O petróleo bruto é um conjunto de hidrocarbonetos. Por refinação o petróleo é separado em várias frações, que depois são processadas quimicamente de modo a produzir os diferentes combustíveis e outros produtos. Da destilação fraccionada obtêm-se: o gás propano e butano, a gasolina, o querosene e petróleo, o gasóleo, o fuelóleo, as parafinas e os asfaltos.

- **Estrutura dos combustíveis**

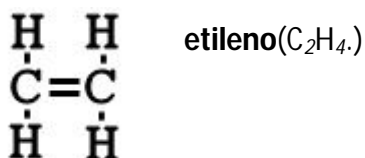
Os hidrocarbonetos que constituem a gasolina e o gasóleo agrupam-se em famílias de parafinas, oleofinas, naftalenos e aromáticos.

As parafinas são hidrocarbonetos de fórmula geral C_nH_{2n+2} . de ligação simples e em cadeia aberta. O nome de hidrocarbonetos parafínicos termina em "ano", sendo o prefixo relativo ao número de átomos de carbono da molécula (1: met, 2: et, 3: prop, 4: but, 5: pent, 6: hex, 7: hept, 8: oct, 9: non, 10: dec, 11: undec, 12: dodec.).



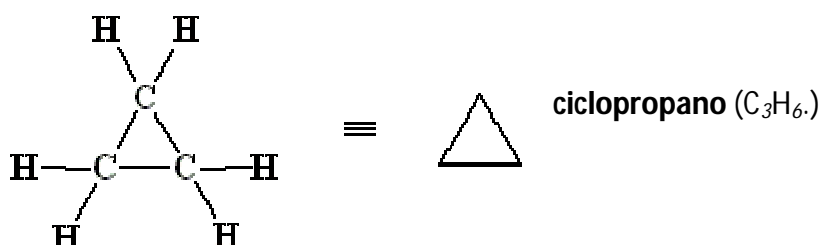
heptano (C_7H_{16} .)

As oleofinas são moléculas de fórmula geral C_nH_{2n} . com uma ou mais ligações duplas entre átomos de carbono que se ligam em cadeias abertas. As oleofinas com mais de uma ligação dupla são prejudiciais na armazenagem de combustíveis, por isso que são retirados no momento da destilação dos combustíveis.

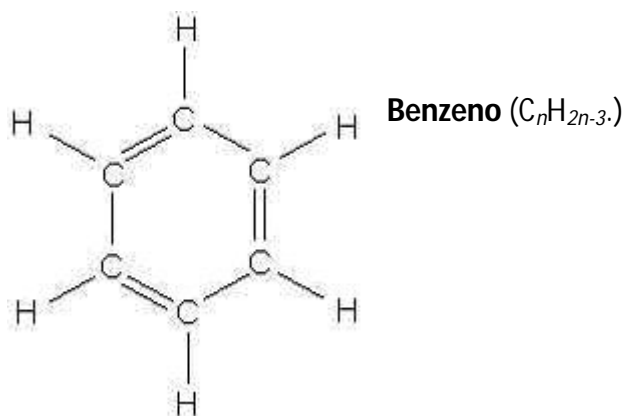


etileno (C_2H_4 .)

Os naftalenos têm a mesma fórmula que as oleofinas (C_nH_{2n}) no entanto todas as ligações entre átomos de carbono são simples.



Os hidrocarbonetos aromáticos são formados por uma ou mais cadeias de 6 átomos de carbono com ligações simples e duplas de fórmula geral C_nH_{2n-3} .



As fortes cadeias fechadas dos hidrocarbonetos aromáticos fazem com que sejam difíceis de quebrar o que faz com que o índice de octano da gasolina aumente e que o índice de cetano (facilidade do combustível em auto inflamar-se) do gasóleo diminui.

- **Gasolina**

É o carburante mais utilizado actualmente nos motores endotérmicos, sendo uma mistura de hidrocarbonetos obtidos do petróleo bruto, por intermédio de vários processos como o "cracking", destilação e outros. É um líquido volátil e inflamável. A característica mais importante da gasolina é o seu índice de octano que determina a

taxa de compressão possível nos motores de combustão interna e também a sua velocidade de combustão. O octano tem como função queimar mais eficientemente.

- **Gasóleo**

O gasóleo é um produto da destilação fraccionada do petróleo bruto contendo vários hidrocarbonetos. Ao contrário da gasolina, o gasóleo é o combustível que deve ser usado num motor de ignição por compressão porque é facilmente auto-inflamável. A densidade do gasóleo é superior à da gasolina (0,85>0,75) o que faz com que o consumo de gasóleo seja inferior ao consumo de gasolina. O gasóleo tem um teor em enxofre superior ao da gasolina (0,3%>0,3%).

- **Outros combustíveis**

Nos motores de combustão interna podemos usar outros tipos de combustíveis para além do gasóleo e da gasolina, tais como: álcoois, éteres e esterres, óleos vegetais e gás natural.

Impactos ambientais/Alternativas

Os motores de combustão interna libertam várias substâncias tóxicas nocivas para o ambiente e para o organismo humano. Durante o trabalho destes motores o pistão liberta, principalmente as seguintes substâncias: óxidos de azoto, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e compostos de enxofre e chumbo. Mesmo num motor bem regulado a quantidade de gases tóxicos que pode ser libertada é ainda um factor a tentar melhorar.

Componentes tóxicos	Motores Diesel	Motores a carburador
Monóxido de Carbono %	0,2	6
Óxidos de nitrogénio %	0,35	0,45
Hidrocarbonetos %	0,04	0,4
Dióxido de enxofre %	0,04	0.007
Fuligem / mg / l	0,3	0,05

Tabela I. Quantidade de gases emitidos pelos dois tipos de motores

Assim, a toxidade do motor a diesel depende principalmente da emissão de óxidos de nitrogénio e de fuligem. Por outro lado os motores a gasolina emitem principalmente monóxido de carbono e óxidos de nitrogénio.

Os motores de combustão interna têm grandes responsabilidades ao nível de emissões que causam o efeito estufa (dióxido de carbono e óxidos nitrosos). Segundo estimativas do Governo Espanhol no que diz respeito a Alterações Climáticas, tudo leva a querer que com esta emissão de gases do efeito de estufa, "o aumento da temperatura rondará uma taxa média global de 0,3°C por década e que, consequentemente, haverá um aumento do nível do mar que pode chegar aos 100m em 2100".

Para haver redução dos poluentes podem haver medidas no que diz respeito a dois grandes grupos essenciais: construtores e operadores. No que diz respeito ao método construtivo pode ser feita uma recirculação de gases de combustão e a neutralização destes. Quanto aos processos operativos, a regulamentação adequada, a

melhoria dos processos de formação de mistura e combustão e a selecção correcta dos combustíveis, aditivos e a utilização de biocombustíveis.

Conclusão

Ao longo da realização deste trabalho conseguimos alargar os nossos conhecimentos científicos, nomeadamente no que diz respeito aos motores de combustão interna. No início, deparámo-nos com algumas dificuldades e questões relativas, principalmente, ao funcionamento do motor. No entanto, com trabalho e muita pesquisa conseguimos obter as respostas necessárias para as nossas dúvidas iniciais.

Chegámos à conclusão que os motores de combustão interna são essenciais e representam um grande contributo tecnológico para a nossa sociedade. Estes, têm diversas aplicações, estando a principal relacionada com a indústria automóvel e outros veículos de locomoção, desempenhando também um papel muito importante em sistemas de bombeamento de água, de produção de electricidade e ar comprimido. Contudo, existe ainda um longo caminho a percorrer na redução da emissão de gases poluentes para a atmosfera terrestre por parte deste tipo de motores.

Bibliografia

«Motores de Combustão Interna» - Jorge Martins

Sitiografia

<http://www.mspc.eng.br/termo> (Acedido a 4 de Outubro)

http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_Otto (Acedido a 5 de Outubro)

http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_diesel#Ciclo_Termodin.C3.A2mico (Acedido a 5 de Outubro)

<http://www.rcmasters.com.br/index.php?name=News&file=print&sid=8> (Acedido a 11 de Outubro)

<http://www.fram.com.br/pdf/leve/modulo02.pdf> (Acedido a 3 de Outubro)

http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combust%C3%A3o_interna Acedido a 3 de Outubro)

<http://www.geocities.com/webbike2000/dicas/2tempos.htm> (Acedido a 7 de Outubro)