

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS DA MARINHA
MERCANTE (APMA-2 -2010)**

A EVOLUÇÃO DOS MOTORES



Por: MARCOMEDES JACINTO DA COSTA

Orientador: Prof. Ramessés Cesar da Silva Ramos
OFICIAL DE MÁQUINAS ESPECIALISTA EM SISTEMAS
Rio de Janeiro
2010

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA**

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS DA MARINHA
MERCANTE (APMA 2 – 2010)**

A EVOLUÇÃO DOS MOTORES

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas (APMA).

Por: MARCOMEDES JACINTO DA COSTA

Rio de Janeiro
2010

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS DA MARINHA
MERCANTE (APMA)

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR: Especialista RAMESSES CESAR DA SILVA RAMOS

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA :

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos os que Ele colocou no meu caminho - familiares, amigos, mestres, colegas e a Autoridade Marítima Brasileira.

DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia aos meus familiares, professores, orientadores, amigos e colegas.

RESUMO

Este estudo faz uma abordagem sobre o tema “ A evolução dos motores”. Para tanto, busquei inicialmente contemplar a evolução dos motores e seu resumo histórico até o advento dos motores diesel eletrônicos. Detalhei, em seguida, os motores de combustão interna com suas classificações, definições, destacando-se os motores a quatro tempos e dois tempos. Abordei o gerenciamento do motor no que diz respeito ao seu sistema de alimentação e discorri sobre os motores de navios e embarcações. Por fim, tracei um perfil sobre os sistemas Common-Rail e HCCI existente na atualidade, e depois os motores de propulsão elétrica muito comuns nos navios atuais. O estudo conclui que novos sistemas já estão em adiantada fase de implantação, como o uso da energia nuclear em sistemas navais, as turbinas a gás e as quasiturbinas, vislumbrando aumentar a potência e proporcionar maior torque, e reduzir o consumo de combustível e os níveis de ruídos e de emissões de poluentes, melhorando a performance das embarcações..

Palavras-chave: Evolução dos motores

ABSTRACT

This study is an approach on " The evolution of engines." To do so, I overhold the development of engines and their short history until the advent of electronic diesel engine,(c combustion engines internacom their classifications, definitions, especially those of four-stroke engines and two-stroke. I addressed the management of the engine with regard to its supply system and I spoke out about the engines of ships and boats. Finally, I drew up a profile on the Common-Rail systems and HCCI and thereby about the electric propulsion engines, very common existing nowadays. The study concludes that new systems are in updated phase of implantation, such as nuclear power plants for naval use, gas turbins, the quasiturbins, etc., looking toward the advantage of increasing power and provide greater torque at low revolutions, in addition to reducing fuel consumption, the levels of noise and pollutant emissions, improving the performance of ships and boats.

Keywords: Evolution of engines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Evolução dos sistemas eletromecânicos.....	15
FIGURA 2 – Aumento de complexidade eletrônica de veículos.....	16
FIGURA 3 – Motor Diesel.....	17
FIGURA 4 – Curso de pistão.....	21
FIGURA 5 – Câmara de Combustão	22
FIGURA 6 – Definição de taxa de compressão	23
FIGURA 7 – Ocorrência da pré-ignição	25
FIGURA 8 – Danificação por detonação	26
FIGURA 9 – Sistema de ignição convencional x distribuidor.....	27
FIGURA 10 – Admissão da mistura ar x combustível	28
FIGURA 11 – Compressão da mistura ar x combustível.....	29
FIGURA 12 – Explosão da mistura ar x combustível	29
FIGURA 13 – Escape dos produtos de combustão.....	30
FIGURA 14 – Admissão e compressão da mistura ar x combustível.....	31
FIGURA 15 - Explosão e escape da mistura ar x combustível.....	31
FIGURA 16 - Vista superior de motor diesel de navio.....	38
FIGURA 17 - Sistema Common Rail	40
FIGURA 18 - Comparação entre combustões	41

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	A EVOLUÇÃO DOS MOTORES.....	11
2.1	Resumo histórico.....	11
2.2	Motores Diesel eletrônicos.....	Erro! Indicador não definido.
3.	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	19
3.1	Classificação	19
3.2	Definições	20
3.3	Motor Quatro Tempos.....	28
3.4	Motor Dois Tempos	30
4.	GERENCIAMENTO DO MOTOR.....	33
4.1	Sistema de alimentação	33
4.2	Motores de navios e embarcações.....	36
5.	NOVOS SISTEMAS DE MOTORES.....	26
5.1	Sistema COMMON-RAIL	26
5.2	Sistema HCCI	29
6.	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

O tema que busco abordar neste trabalho é “A evolução dos motores”. Pretendo com esta pesquisa responder a uma problematização e levantar discussão acerca dos conceitos que dizem respeito aos motores, possibilitando a reflexão sobre o tema.

O estudo sobre a evolução dos motores, suas características básicas e vantagens pode contribuir para o meio acadêmico marítimo com uma melhor compreensão dos conceitos, definições e atribuições a curto e longo prazo que as novas descobertas podem trazer. A partir dos dados e resultados desta pesquisa podemos sugerir ao meio acadêmico repensar as práticas tradicionais, assim como idealizar novas práticas para a utilização dessas máquinas.

Atualmente assiste-se a uma grande evolução nos motores, da qual os novos sistemas de "common-rail" nos motores diesel e de injeção direta nos a gasolina são o resultado visível. Porém, outros progressos mais radicais estão a ser desenvolvidos, provavelmente levando a tipos de motores de combustão "híbrida" entre os que consomem gasolina e gasóleo. Estes tipos de combustão têm várias denominações, mas são geralmente conhecidos por CAI (controlled auto ignition) e por HCCI (homogeneous charge compression ignition), e que se prevê seja determinante no futuro dos motores.

Os motores de combustão interna são máquinas intensamente usadas no mundo todo, sendo simultaneamente uma fonte de satisfação mas também de problemas, como os ambientais. Estudos levaram a forte redução dos ruídos da combustão, das vibrações em marcha lenta e do peso.

Nos anos 90 ocorreu a popularização do sistema "common rail", injeção em que os bicos injetores, com comando eletrônico, recebem o combustível de uma única linha, central, em pressões ao redor de 1.500 bar, para que haja uma queima bem próxima da perfeição, tornando o diesel ainda mais econômico e mais potente. Trata-se basicamente, da disposição de alimentação adotada nos motores a gasolina atuais.

A evolução dos motores também beneficia as embarcações, tendo em vista que o motor diesel ainda é o mais usado a bordo como fonte de propulsão mecânica e geração de eletricidade. Seja para impelir movimento ao hélice através de engrenagens mecânicas, seja acoplado a um gerador que acione motores elétricos, o Motor Diesel tem se revelado uma opção barata, confiável, compacta e potente.

À medida em que os parâmetros de emissões ficam mais rígidos e o fator consumo se estreita através das imposições de um mercado cada vez mais exigente, ficam mais claras as vantagens, como: alto rendimento térmico, menor consumo específico e por conseqüência menores índices de emissões de poluentes por utilizar um combustível menos volátil que a gasolina, oferece maior segurança nos acidentes.

Mas a evolução continua, com a presença das plantas nucleares como as de Angra dos Reis, no Brasil e centenas de outras espalhadas pelo mundo todo, além das turbinas a gas e das quasiturbinas.

2. A EVOLUÇÃO DOS MOTORES

2.1 Resumo histórico

A segunda metade do século passado, “o século do vapor”, viu nascer e crescer esta magnífica invenção que é o motor térmico. Obra coletiva, fruto do trabalho de numerosos pesquisadores. Atualmente vemos que o motor térmico é considerado como um dos maravilhosos instrumentos de nossas vidas modernas, que permite ao homem se deslocar, transportar, e multiplicar suas atividades sobre a terra ar e mar. (Samaha, 2008)

Grandes nomes da ciência física trouxeram contribuição para o desenvolvimento dessa invenção que é considerada uma das maiores invenções da nossa história, tendo no seu desenvolvimento contribuições de pequenos pesquisadores e colaboradores como o francês Beau de Rochas, o americano Brayton, os alemães Nicolas Otto e Eugene Langen, o francês Emile Capitaine e Rodolph Diesel que nasceu em Paris em 18 de março de 1858.

Em 16 de janeiro de 1862 o francês Beau de Rochas, publicou uma brochura autográfica que deveria se tornar o “Brevê Francês 52593” e resumia seus trabalhos a novas pesquisas sobre as condições praticas da maior utilização do calor e em geral da força motriz. Nessa brochura foi escrito a seguinte frase: Poder-se-á levar a compressão de até 5,5 e 5,6 atm, ou até mesmo ao ponto de ignição. Beau de Rochas imaginou logo a compressão preliminar e estimou como possível a auto-ignição de uma mistura gasosa inflamável, sendo o inventor do ciclo de quatro tempos e o primeiro a conseguir funcionar um motor térmico de quatro tempos.

Em 1872, o americano Brayton construiu o primeiro motor de combustão interna funcionando com o petróleo bruto fazendo a propulsão de pequenos barcos e mais tarde de um dos primeiros submarinos. (Samaha, 2008)

Mais tarde, em 1876, o alemão Nicolas Otto construiu o seu motor ajudado por Eugene Langen na fabrica que os dois fundaram em 1872, A Gasmotorenfabrik Deutz, no distrito de colônia em Deutz.

Entre 1890 e 1891, o francês Emile Capitaine construiu na Alemanha um motor que funcionava com petróleo refinado, onde o ar era diretamente comprimido no cilindro e o combustível injetado por ar comprimido a uma pressão superior à de compressão, modelo que mais tarde aparece nos motores semi-diesel, chamados motores mistos. (Samaha, 2008)

Em 1892, Rodolph Diesel requer a sua primeira patente que foi publicada em Berlin após dez anos de pesquisa. Em 1893, o mesmo projetou um motor de combustão interna e o construiu na fabrica de máquinas de Ausburgo que se tornou a M.A.N. KRUPP. Tal motor projetado para trabalhar com carvão pulverizado e introduzido por um jato de ar comprimido não funcionou perfeitamente. Em 1897, Diesel substituiu o carvão por benzina, sendo que desta vez o motor funcionou de modo satisfatório, pois o petróleo bruto diminui a compressão e consegue ser queimado sem a centelha. (Garcia, 2002)

Os motores diesel ainda hoje movem navios, automóveis, locomotivas, geradores, e outros equipamentos. Suas primeiras aplicações foram em geradores (1902), submarinos (1904), navios (1912), caminhões (1924) e em outros automóveis a partir de 1933.

Foi em 1907 que o engenheiro Lorange projetou o primeiro motor diesel de injeção mecânica para Deutz, que em 1912 construiu um motor a injeção direta. Após a grande guerra foram adaptados em navios e submarinos de grande tonelagem. Foi a partir de 1940 que o motor diesel teve grande evolução e enormes progressos tornando-se mais eficiente, reduzindo desvantagens como peso e tamanho geral, sendo usado material mais sensível à temperatura e menos ruidoso.

Conforme Garcia (2002) em termos de injeção de combustível, os motores diesel evoluíram do sistema de injeção pneumática para os sistemas de injeção mecânica e sólida. A injeção do combustível na câmara de combustão foi conseguida devido a outra invenção de Robert Bosch e Frantz Lang, a bomba mecânica de injeção com pistão ranhurado que permanece sendo o modelo básico das bombas de injeção para pistões individuais em linha.

Atualmente os motores diesel já estão sendo desenvolvidos a ponto de equipar automóveis de alto-luxo e até modelos de competição com tecnologia muito interessante. Como definição elementar o motor diesel é uma máquina térmica de combustão interna que transforma energia calorífica dos combustíveis em energia mecânica (calor em trabalho) que é coletada pela árvore de manivelas.

Esta transformação é obtida pela mudança de estado, vaporização, de volume, compressão de temperatura e de combustão. Como vantagens, tais motores podem apresentar: melhor rendimento térmico, consumo reduzido, maior durabilidade, gases de escapamentos menos tóxicos e partida a frio com maior facilidade, sendo utilizado um tipo de combustível melhor de misturar que é misturado ao óleo vegetal, formando o chamado biodiesel. Até o final de 1985 o motor diesel funcionava baseado no principio da auto-ignição, mas a partir de então a Bosch apresentou ao mercado uma bomba injetora equipada com o controle eletrônico (EDC) e daí foram iniciadas

melhorias importantes para os motores como: maior rendimento, menor consumo de combustível e redução de emissão de gases poluentes. O sistema de comando eletrônico (EDC), também conhecido como unidade de controle eletrônico (ECU) ou (UCE) e modulo de controle eletrônico (ECM). O sistema de comando eletrônico diesel é composto da unidade de comando que é um micro processador, onde são armazenados os mapas das leituras dos sensores e atuadores.

A unidade de comando recebe uma serie de informações enviadas pelos sensores e avalia, calcula e envia os comandos para os atuadores, afim de que eles alinhem os valores medidos com os valores desejados. Calculando a quantidade correta de combustível injetado e o inicio da injeção.

O mercado conta atualmente com dois sistemas de controle eletrônico de injeção de combustível para motores diesel que são: Sistema de unidade injetora (UIS) e o sistema CAMMON RAIL (CRS), ambos se equivalem em termos de eficiência mais a diferença esta no modo de alimentação. No sistema UIS cada unidade injetora (bico injetor) já apresenta uma bomba de alta pressão incorporada e uma bomba de baixa pressão para manter o circuito de alimentação carregado, já o CRS tem uma bomba de alta pressão podendo ou não ser elétrica que irá alimentar um tubo acumulador chamado Rail, o qual é mantido sobre pressão de óleo de até 1800 bar, esperando que um sinal abra passagem de um dos injetores, controlado pelo módulo para que seja injetado o combustível na câmara de combustão, encontrando o ar sob pressão e elevada temperatura entram em combustão, o motor realiza o trabalho e os gases são eliminados pelo escapamento.

Tem-se como previsão para a chegada no mercado, motores diesel com a tecnologia HCCI (Homogeneous Charger Compression Ignition) que é a ignição da mistura homogênea por compressão, a tecnologia PCCI (Premix Charger Compression Ignition) que é a ignição de carga pré-misturada por compressão. Pode ser realmente confirmado, pois já há vários centros de pesquisas mundiais desenvolvendo esses motores, um desses centros de pesquisa é o da Mercedes-Benz em Stuttgart na Alemanha, lá o projeto é conhecido como Diesotto e se for confirmado e utilizado, tornar realidade o sonho da maioria dos consumidores.

A queima nesse sistema acontecerá com o combustível injetado antes da câmara de combustão onde será misturado ao ar em uma pré-câmara. Desta forma, quando a válvula de admissão for aberta a mistura será admitida e a sua combustão se dará de forma espontânea, devido ao aumento de pressão, com isso o combustível deverá estar aquecido para que haja uma boa queima. (Garcia, 2002).

Como vantagens esses tipos de sistemas poderão queimar praticamente todo tipo de combustível, tendo baixa emissão de gases; em laboratório não foi necessário o uso de filtro após a combustão. Na Faculdade de Tecnologia dos EUA os pesquisadores trabalham com os motores HCCI junto com o sistema Camless, no qual as válvulas são comandadas pela central eletrônica, não havendo árvore de comando de válvula. Todo o sistema é controlado eletronicamente, apresentando menor número de peças, tornando-se mais barato, maior controle de emissão de gases na produção e na reparação.

2.2 Motor Diesel Eletrônicos

O motor diesel representa praticamente a totalidade da unidade motriz utilizada na aplicação em veículos de transporte de carga, transporte coletivo, navios e geradores, devido a sua robustez e capacidade de propiciar torques elevados quando comparado a outros tipos de motores. (Ribeiro, 2007)

Os exemplos citados de aplicações do motor diesel remetem à necessidade de que seu funcionamento seja robusto, confiável e não comprometa a operação em que esteja sendo utilizado. A quebra ou o mau funcionamento desse motor pode gerar gastos muitas vezes maiores que seu custo de aquisição em virtude da complexidade da operação em que é aplicado. Podemos citar, como exemplo da sua importância, a utilização como geradores estacionários de energia elétrica em hospitais. Além da necessidade de robustez e confiabilidade, os fabricantes de motor diesel buscam seu aprimoramento para o cumprimento das exigências governamentais de limites de emissão de gases. Na Europa, as normas que limitam a emissão de poluentes são conhecidas pelas siglas EURO I, II, III e na vigente Euro IV

. No Brasil, existem exigências semelhantes, sendo regidas pelo órgão federal do meio ambiente por meio das normas Conama.

As principais modificações sofridas pelos motores diesel ao longo da história foram a utilização de novos materiais e adoção do sistema de gerenciamento eletrônico, que controla a injeção de combustível. O sistema de gerenciamento eletrônico foi primeiro utilizado comercialmente nos motores de ciclo Otto e posteriormente nos motores diesel, devido à necessidade de atender as exigências das leis ambientais e a redução de consumo de combustível. (Ribeiro, 2007).

Atualmente, com o aumento da aplicação da eletrônica embarcada em veículos automotivos, a interação do motor com outros componentes é crescente e a possibilidade de alterar parâmetros do motor de forma eletrônica tem sido um fator importante para o ganho de desempenho.

Apesar do benefício gerado com o uso de componentes eletrônicos, um reflexo destas alterações no motor diesel foi a necessidade de que a rede de serviços esteja preparada para atender as necessidades de diagnósticos de falhas e reparos destes motores eletrônicos.

O uso dos componentes eletrônicos é conhecido como “eletrônica embarcada”, e possui o objetivo de auxiliar no desempenho do veículo, reduzir os níveis de emissões de poluentes, aumentar a segurança e conforto do condutor e reduzir os custos de operação.

Dentre os componentes de veículos que sofreram maiores exigências de melhorias e alterações nos últimos anos podemos citar o motor. Tais melhorias foram executadas para atingir os requisitos de limite de emissões, incorporando ao funcionamento dos motores, dentre outros dispositivos, o controle eletrônico de injeção de combustível (Bosch, 2005).

Na Figura 1 podemos verificar o aumento de componentes eletrônicos empregados no funcionamento dos veículos, sendo a tendência deste crescimento exponencial. Este fato reforça o desafio à capacidade de diagnosticar os veículos com o uso cada vez maior de componentes eletrônicos.

Figura 1 Evolução dos sistemas eletromecânicos.



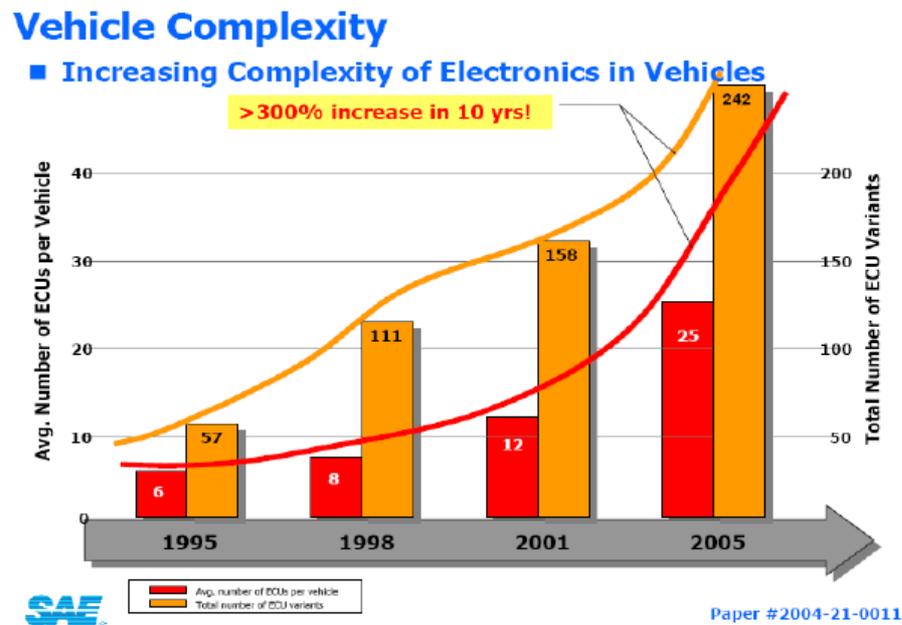
Fonte: adaptado de Heisler (2005)

Alguns modelos de veículos atualmente chegam a possuir diversas unidades eletrônicas de controle. A Figura 2 demonstra o crescimento do emprego de unidades de controle interno também conhecido por ECU (“Electronic Control Unit”), podendo em um mesmo veículo ultrapassar o total de 40 ECU’s. A figura também mostra o numero de parâmetros de funcionamento do motor descrito (“total number of ECU variants”), os parâmetros configuráveis do motor: máxima rotação do motor por marcha de engrenamento, velocidade máxima do veículo, dentre outras possibilidades. (Heisler, 2005)

Um exemplo do uso de eletrônica na área automobilística são os veículos híbridos que contam com a eletrônica embarcada como itens essenciais para seu funcionamento e técnicas computacionais que, quando aplicadas na forma de algoritmos na ECU, propiciam um maravilhoso desempenho do veículo.

Dentre os algoritmos instalados na ECU, vários são desenvolvidos utilizando diversos métodos de Inteligência Artificial, tais como lógica Fuzzy, Redes Neurais, algoritmos genéticos e redes Bayesianas.

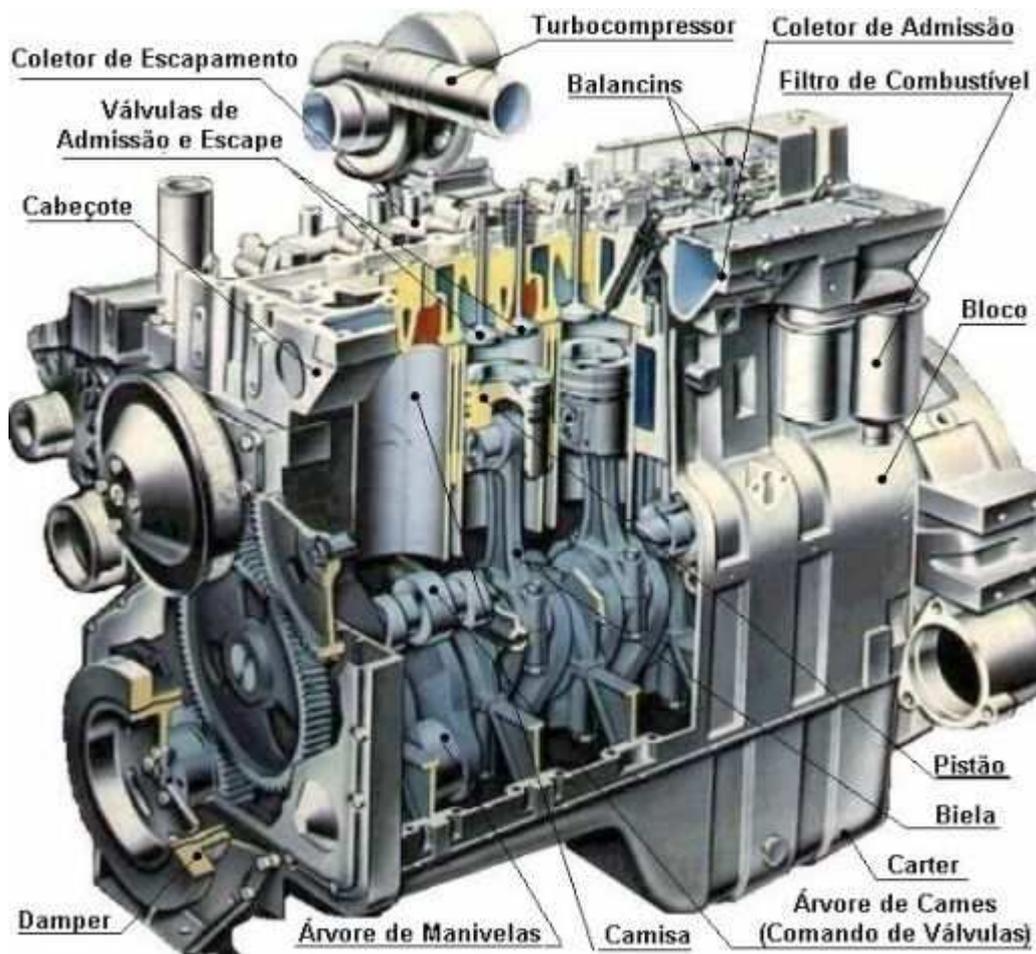
Figura 2 - Aumento da complexidade da eletrônica em veículos



Fonte: Ganesan (2003)

Podemos constatar que tanto pelo aumento do emprego de componentes eletrônicos nos veículos normais de produção, como em projetos de veículos autônomos, o desafio de efetuar o diagnóstico de falhas torna-se uma tarefa complexa que exige capacitação da mão-de-obra e métodos robustos no processo desta busca pela causa da falha do veículo.

Figura 3 - Motor Diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 visto em corte



Fonte: Ganesan (2003)

A fabricante Ford acredita que os motores a diesel eletrônicos são apenas o começo e acaba de fazer uma parceira com a Universidade de Bath, Inglaterra, com o intuito de incorporar melhorias tecnológicas que dêem aos motores diesel uma sobrevida, até que as **células a combustível**, ou outra tecnologia promissora, possa tornar-se uma realidade economicamente viável.

Estas melhorias incluem tornar mais eficientes o controle de temperatura e os mecanismos de refrigeração dos motores a diesel, além de aumentar o número de componentes do motor que são acionados eletricamente. Quanto menor energia mecânica o motor gastar para mover seus próprios componentes internos, mais energia estará disponível para mover o veículo, significando um motor mais eficiente, com menor consumo de combustível e menos emissão de poluentes.

A meta da pesquisa é de reduzir a emissão de poluentes pela metade nos próximos sete anos, mantendo uma tendência que já se verifica nos anos recentes, resultado de um esforço tecnológico feito pela maioria dos grandes fabricantes.

Até agora as pesquisas têm-se pago rapidamente: estima-se que em 2.008, metade de todos os carros vendidos na Europa sejam movidos a diesel.

"Pesquisas feitas nas últimas décadas reduziram a emissão de poluentes nos motores a diesel de tal forma que hoje eles se comparam aos motores a gasolina. E como os veículos a diesel têm um menor consumo de combustível, eles são hoje menos poluentes do que os motores a gasolina. A última geração de veículos equipados com motores diesel eletrônicos é de ultra-baixa poluição comparados com aqueles de dez anos atrás", explica o professor Gary Hawley, que irá coordenar a pesquisa.

3. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

O motor baseado no ciclo ideal Otto caracteriza-se por ter sua ignição por faísca. Este tipo é o mais comumente utilizado em automóveis de passeio e motocicletas. Existem processos alternativos em motores experimentais para iniciar a queima como microondas ou uma injeção piloto.

Os motores diesel caracterizam-se pela ignição por compressão. O fluido de trabalho (normalmente ar) é comprimido sem ser misturado ao combustível e quando o combustível é injetado no fluido comprimido e quente esse se inflama. As máquinas que impulsionam veículos pesados como caminhões, trens e navios, usualmente são baseadas no ciclo ideal de Diesel, o que não se refere ao combustível utilizado e sim ao ciclo termodinâmico em que operam.

Os motores de combustão interna são Máquinas Térmicas Motoras nas quais a energia química dos combustíveis se transforma em trabalho mecânico (o fluido de trabalho consiste nos produtos da combustão). O processo de conversão se dá por meio de ciclos termodinâmicos que envolvem expansão, compressão e mudança de temperatura de gases.

São considerados motores de combustão interna aqueles que utilizam os próprios gases de combustão como fluido de trabalho. Ou seja, são estes gases que realizam os processos de compressão, aumento de temperatura (queima), expansão e finalmente exaustão. Assim, este tipo de motor distingue-se dos ciclos de combustão externa, nos quais os processos de combustão ocorrem externamente ao motor. Neste caso, os gases de combustão transferem calor a um segundo fluido que opera como fluido de trabalho.

3.1 Classificação

Os Motores de Combustão Interna podem ser classificados quanto ao gás de admissão, quanto ao tipo de ignição, quanto ao movimento do pistão, quanto ao ciclo de trabalho, quanto ao número de cilindros, quanto à disposição dos cilindros e quanto à utilização.

Quanto a propriedade do gás na admissão podem ser classificados em ar (Motores à diesel) ou Mistura ar-combustível (Ciclo Otto).

Quanto à ignição podem ser por centelha (ICE) e por compressão (ICO).

Quanto ao movimento do pistão em Alternativo (Otto e Diesel) e Rotativo (Wankel, Quasiturbine).

Quanto ao ciclo de trabalho em dois tempos e quatro tempos.

Quanto ao número de cilindros em monocilindros e policilindros.

Quanto à disposição dos cilindros em cilindros em linha, opostos (boxer), em V e em estrela (radial).

Quanto à utilização em:

ESTACIONÁRIOS- Destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como Geradores, máquinas de solda, bombas ou outras máquinas que operam em rotação constante;

INDUSTRIAIS - Destinados ao acionamento de máquinas de construção civil, tais como tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora-de-estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações onde se exijam características especiais específicas do acionador;

VEICULARES - Destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, tais como caminhões e ônibus;

MARÍTIMOS - Destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval. Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma vasta gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso. (Lazer, trabalho, comercial leve, pesado, médio e contínuo)

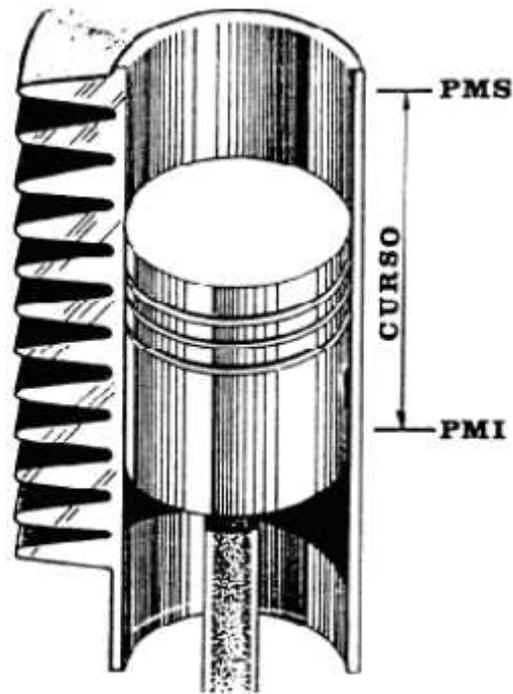
3.2 Definições

Vários termos são utilizados em Motores de Combustão Interna, entre os quais:

a - Ponto Morto Superior e Ponto Morto Inferior

São nestas posições que o êmbolo muda de sentido de movimento estando no seu máximo (PMS) ou no seu mínimo (PMI), conforme a Figura 4

FIGURA 4 - Curso do Pistão



Fonte: adaptado de Ganesan (2003)

b – Cilindrada

É o volume total deslocado pelo pistão entre o P.M.I. e o P.M.S., multiplicado pelo número de cilindros do motor. É indicada em centímetros cúbicos (cm^3) e tem a seguinte fórmula:

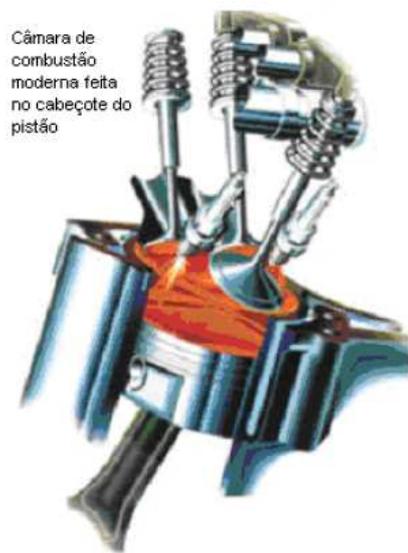
$$C = \left(\frac{\pi D^2}{4} Curso \right) N_{cilindros} \quad [cm^3] \quad (2.1)$$

c- Câmara de compressão ou de combustão, Volume Morto

É o espaço livre que fica acima do pistão quando este se encontra no P.M.S. Nele, a mistura ar/combustível do motor a gasolina, que entrou pela válvula de admissão, será comprimida e, após a faísca emitida pela vela, explodirá para que a expansão dos gases movimente o pistão e dê seqüência ao funcionamento do motor.

Dependendo do grau de modernidade do motor, a câmara pode estar inserida no cabeçote ou na cabeça dos pistões – esse último mais comumente encontrado. Basicamente, o volume da câmara de combustão define a Taxa de Compressão do motor. Quanto menor for seu volume, maior será essa relação e, conseqüentemente, melhor o rendimento do motor. Todos os componentes que atuam em sua formação ou ao seu redor influenciam diretamente em sua eficiência: a posição das válvulas e o desenho dos dutos de admissão, etc.

FIGURA 5 - Câmara de Combustão



Fonte (Bosch, 2005)

d – Taxa de Compressão (Relação)

Relação matemática que indica quantas vezes a mistura ar/combustível ou simplesmente o ar aspirado (no caso do diesel) para dentro dos cilindros pelo pistão é comprimido dentro da câmara de combustão antes que se inicie o processo de queima. Assim, um motor a gasolina que tenha especificada uma taxa de compressão de 7,2:1, por exemplo, indica que o volume aspirado para dentro do cilindro foi comprimido 7,2 vezes antes que a centelha da vela iniciasse a combustão, Figura 6.

Chamando de V a cilindrada do motor e v o volume da câmara de combustão (volume morto), têm-se:

$$TC = \frac{V + v}{v} \quad 2.2$$

e - Auto-Ignição

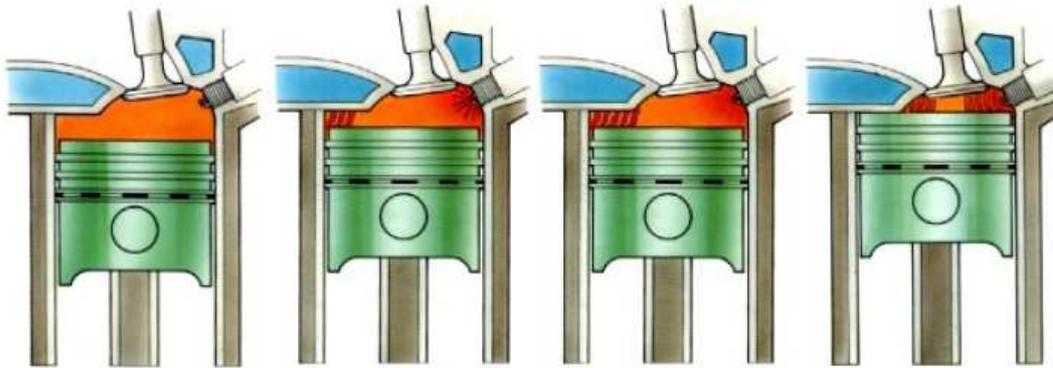
Em razão das altas temperaturas na câmara de combustão ou octanagem incorreta da gasolina para a taxa de compressão do motor, algumas vezes o efeito auto-ignição pode ocorrer. Pontos quentes no interior da câmara passam a fazer o papel da vela de ignição, incandescendo a mistura ar/combustível antes mesmo de a vela de ignição iniciar o processo através da centelha elétrica. Uma vela com grau térmico muito alto para a situação em que o motor está sendo utilizado pode também ser o motivo da auto-ignição.

Muito prejudicial ao funcionamento do motor, fazendo com que o mesmo perca potência e corra o risco de um superaquecimento ainda maior, a auto-ignição pode levar à destruição da câmara de combustão e, em casos extremos, furos na cabeça dos pistões ou mesmo sua fusão com o cilindro. Seus efeitos devastadores são idênticos aos do motor com ponto de ignição muito adiantado, o que pode acabar provocando detonações.

Pré-ignição: a pré-ignição provoca a queima da mistura antes do tempo normal de combustão (muito cedo), ao contrário da detonação que a atrasa. A pré-ignição ocorre quando a mistura ar/combustível é queimada por uma fonte não controlada antes de ser ignizada pela faísca da vela. A pré-ignição pode destruir um motor em minutos. Ela provoca uma reação muito rápida da mistura ar/combustível porque ela cria duas frentes de chama sendo queimadas simultaneamente.

Isto gera altas temperaturas, às vezes acima de 2200° e ao mesmo tempo, as pressões de pico são aproximadamente o dobro (cerca de 8200 kPa contra 4100 kPa das pressões de combustão norma). Como a mistura foi queimada prematuramente, a pressão de pico é normalmente atingida um pouco antes do P.M.S. (Ponto Morto Superior). Isto deixa menos espaço para os gases em combustão, o que aumenta as pressões de pico.

FIGURA 7 – Ocorrência da pré-ignição



Fonte (Bosch, 2005)

Tudo isto significa que uma ou mais das seguintes situações pode estar ocorrendo:

- taxa de compressão elevada
- ponto de ignição das velas adiantado
- má regulagem da mistura de ar/combustível
- combustível de baixa octanagem
- depósitos de carvão que permanecem incandescentes nos pistões ou cabeçote
- velas de tipo excessivamente quente para o motor
- carga excessiva do motor

Detonação: a detonação pode ser definida com uma combustão proveniente da reação rápida e espontânea de uma parte da mistura ar/combustível, quando esta é submetida a pressões e temperaturas crescentes originadas da combustão normal. A mistura é ignizada pela centelha da vela e a combustão se processa normalmente até que a frente de chama avançando superaquerce por compressão e radiação - os gases ainda não queimados. Surge então uma chama não controlada, que pode provocar algo semelhante a uma explosão na câmara. Esta frente de chama secundária, avança com velocidade supersônica até colidir com a frente original, criando o ruído característico de "batida" e que ressoa sobre as paredes e a superfície da câmara. A detonação cria uma explosão com pressão e velocidades violentas dentro da câmara, como o motor não pode efetivamente utilizar esta energia, ela é dissipada na forma de calor e vibrações de alta frequência, que podem exercer esforços sobre os pistões e anéis além dos seus limites de resistência mecânica. Os topos dos pistões são perfurados, as cabeças sofrem erosão, regiões dos anéis são fraturadas e os próprios anéis quebrados, tudo isto devido a esta energia não utilizada. A figura 8 mostra o dano por detonação.

FIGURA 8 - Danificação por detonação

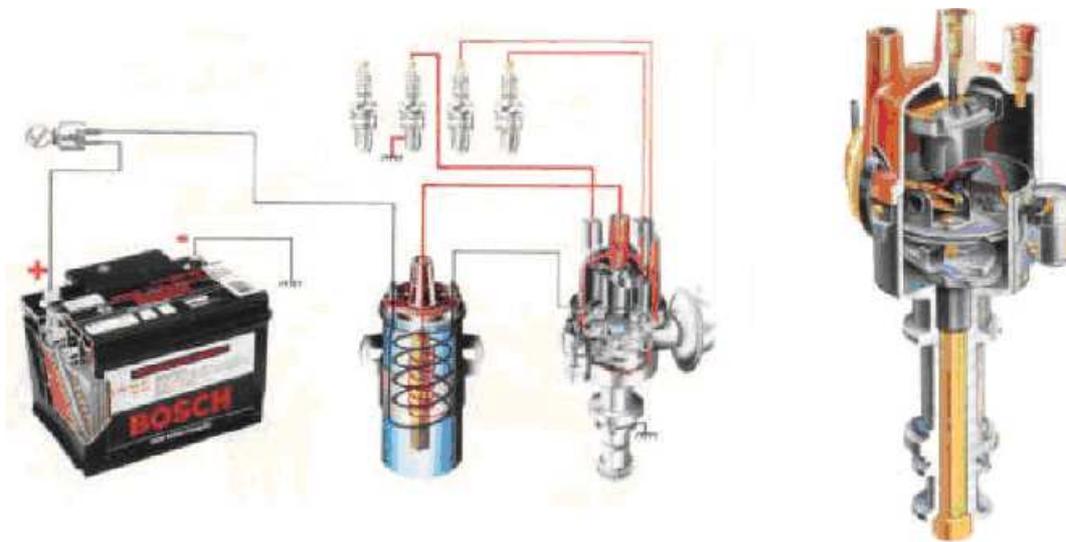


Fonte (Bosch, 2005)

f – Avanço

Nome empregado mais comumente para designar o quanto a faísca da vela deverá ser avançada, com relação ao P.M.S. do pistão para iniciar o processo de combustão. Faz-se o avanço para se obter a máxima pressão sobre o pistão quando o mesmo atinge o P.M.S., melhorando a performance do motor. Em um automóvel, o avanço pode ser de 3 tipos: a vácuo, centrífugo ou eletrônico. Os dois primeiros, absolutamente mecânicos, atuam diretamente sobre o distribuidor como mostrado na Figura 9, sendo passíveis de erro operacional.

FIGURA 9 - Sistema de ignição convencional e distribuidor



Fonte (Bosch, 2005)

O terceiro tipo de avanço, o eletrônico, existe na memória do sistema de comando da ignição ou, o que é bem mais moderno e comum atualmente, na central eletrônica que comanda a injeção e ignição, simultaneamente.

g - Ciclo

O ciclo mecânico é o mesmo em qualquer motor alternativo. Primeiro introduz-se o combustível no cilindro, depois se comprime o combustível, queima-se o mesmo, ocorre a expansão dos gases resultantes da combustão, gerando trabalho e expulsão dos gases.

Nos motores a pistão, pode completar-se de duas maneiras;

- Ciclo de trabalho a quatro tempos;
- Ciclo de trabalho a dois tempos;

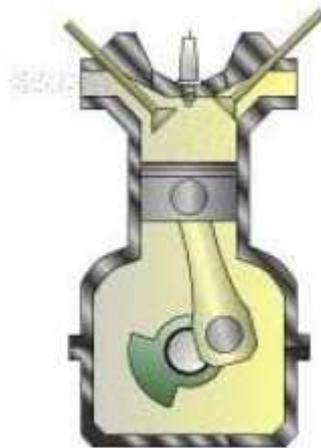
3.3 MOTOR QUATRO TEMPOS

O ciclo se completa a cada quatro cursos do êmbolo, de onde vem a sua denominação.

Um ciclo de trabalho estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

No primeiro tempo, com o pistão em movimento descendente, dá-se a admissão, que se verifica, na maioria dos casos, por aspiração automática da mistura ar-combustível (nos motores Otto), ou apenas ar (motor Diesel). Na maioria dos motores diesel modernos, uma ventoinha empurra a carga para o cilindro (turbocompressão).

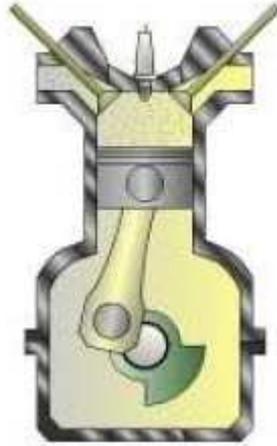
FIGURA 10 - Admissão da mistura ar/combustível



Fonte (Bosch, 2005)

No segundo tempo, ocorre a compressão, com o pistão em movimento ascendente. Pouco antes do pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado (no motor Otto), ou a auto-ignição (no motor Diesel).

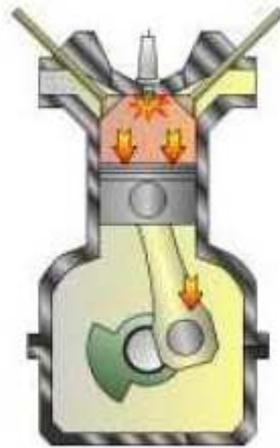
FIGURA 11 - Compressão da mistura ar/combustível



Fonte (Bosch, 2005)

No Terceiro tempo, com o pistão em movimento descendente, temos a ignição, com a expansão dos gases e transferência de energia ao pistão (tempo motor).

FIGURA 12 - Explosão da mistura ar/combustível



Fonte (Bosch, 2005)

No quarto tempo, o pistão em movimento ascendente, empurra os gases de escape para a atmosfera.

FIGURA 13 - Escape dos produtos de combustão



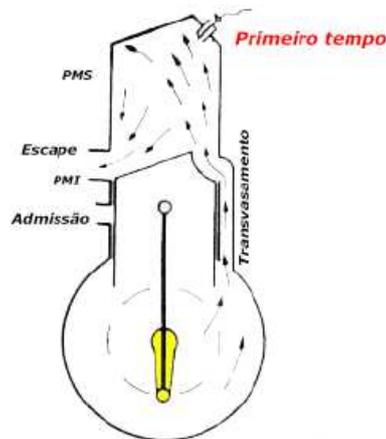
Fonte (Bosch, 2005)

Durante os quatro tempos – ou duas rotações – transmite-se trabalho ao pistão só uma vez. Para fazer com que as válvulas de admissão e escapamento funcionem corretamente, abrindo e fechando as passagens nos momentos exatos, a árvore de comando de válvulas (ou eixo de cames) gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.

3.4 MOTOR DOIS TEMPOS

Os motores deste tipo combinam em dois cursos do êmbolo as funções dos motores de quatro tempos, sendo assim, há um curso motor para cada volta do virabrequim. Normalmente estes motores não têm válvulas, eliminando-se o uso de tuchos, hastes, etc. O Carter, que possui dimensões reduzidas, recebe a mistura ar/combustível e o óleo de lubrificação. Deve ser cuidadosamente fechado, pois nele se dá a pré-compressão da mistura.

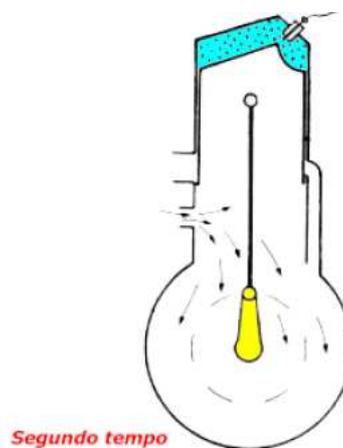
FIGURA 14 - Admissão e compressão da mistura ar/combustível



Fonte: Ferguson (2007)

O êmbolo dirige-se ao PMS, comprimindo a mistura ar-combustível. As janelas de escape e carga são fechadas, abrindo-se a janela de admissão. Com o movimento do êmbolo, gera-se uma pressão baixa dentro do cárter e assim, por diferença de pressão admite-se uma nova mistura ar-combustível-óleo lubrificante, que será utilizado no próximo ciclo. O virabrequim dá meia volta, 180 graus, fechando o ciclo. Pouco antes de atingir o PMS, dá-se a centelha, provocando a combustão da mistura, gerando uma força sobre o êmbolo. Inicia-se então o próximo ciclo.

FIGURA 15 - Explosão e escape da mistura ar/combustível



Fonte: Ferguson (2007)

É o curso de trabalho. No PMS, dado início à combustão por meio de uma centelha (*spark*), o êmbolo é forçado até o PMI. Durante o curso, o êmbolo passa na janela de descarga dando vazão aos gases da combustão. Ao mesmo tempo o êmbolo abre a janela de carga permitindo que uma nova mistura ar-combustível entre no cilindro preparando-o para o novo ciclo e forçando os gases provenientes da combustão para fora (lavagem). O virabrequim, neste primeiro tempo, dá meia volta, 180 graus.

4. GERENCIAMENTO DO MOTOR

4.1 Sistema de alimentação

Um sistema de alimentação, utilizado antes da injeção eletrônica de combustível, era o carburador, sendo um sistema mecânico responsável pela dosificação da mistura ar-combustível.

Essa mistura deve obedecer a uma relação chamada “razão da mistura”, que é a razão entre a massa de ar e de combustível admitido. Essa relação de mistura estequiométrica deve ser alterada conforme a mudança de combustível, otimizando a redução de emissões (Guibet,1999).

Um sistema de alimentação deve realizar as seguintes funções essenciais:

- a) controle preciso do fluxo de combustível e ar;
- b) atomização do combustível para assegurar uma mistura ar-combustível que vaporize durante a entrada no cilindro;
- c) igual distribuição da mistura para todos os cilindros.

No funcionamento do motor, no entanto, verifica-se que a razão da mistura ar-combustível é variável conforme a rotação do motor (posição da borboleta). Para isso, o carburador conta com diversos sistemas de auxílio para obter essa variação.

Pode-se dividir a posição da borboleta em quatro períodos:

- (A) Marcha lenta: borboleta quase totalmente fechada;
- (B) Faixa intermediária: 0 a 25% de abertura da borboleta;
- (C) Faixa média: 25 a 75 % de abertura da borboleta;
- (D) Potência Máxima: 75 a 100% de abertura da borboleta;

Na posição “(A)”, o motor opera com mistura rica para estabilizar a rotação, tem os maiores níveis de emissões e, como a borboleta encontra-se fechada, existe um circuito auxiliar que permite a passagem de combustível.

Na posição “(B)”, o motor ainda opera com mistura rica, existe outro circuito auxiliar que injeta combustível.

Na posição “(C)”, o motor opera com mistura pobre, que pode ser obtida com o auxílio de um tubo tipo flauta, que possui diversos orifícios ao longo de seu comprimento, colocado dentro do pulverizador.

Finalmente, na posição “(D)”, o motor opera com mistura rica, pois necessita potência máxima, baixa temperatura nas válvulas de escape e maior rendimento volumétrico (relação entre o volume real de ar que entra na câmara de combustão e o volume que poderia entrar).

Os sistemas de injeção e ignição eletrônica, que se encontram nos veículos atualmente, são sistemas integrados e recebem sinais de diversos sensores dispostos no motor.

Esse sistema apresenta a grande vantagem de ter um controle mais efetivo do processo de combustão, proporcionando obtenção de maiores potências, redução de emissões e maior economia de combustível. Um sistema semelhante foi utilizado nos experimentos deste trabalho.

Os sistemas de injeção eletrônica de combustíveis podem ser classificados em monoponto, que possui apenas um eletro-injetor para todos os cilindros, ou multiponto, que possui um eletro-injetor para cada cilindro, posicionados o mais próximo possível da válvula de admissão [Rech, 2002].

O sistema de injeção multiponto de combustível pode, ainda, ser subdividido em três outros tipos:

- **Injeção eletrônica multiponto sincronizada:** a injeção de combustível ocorre simultaneamente em todas as válvulas injetoras;

- **Injeção eletrônica multiponto seqüencial:** a injeção de combustível obedece à seqüência de abertura das válvulas de admissão;

- **Injeção eletrônica multiponto seqüencial fasada:** além do combustível ser injetado obedecendo à seqüência de abertura das válvulas de admissão, a injeção em cada cilindro é dividida em duas etapas: uma quando a válvula de admissão abre, e a outra pouco antes da válvula de admissão fechar. Esse sistema, utilizado principalmente em motores de competição, proporciona melhor homogeneização da mistura ar-combustível, contribuindo dessa forma para um melhor rendimento do motor.

O principal elemento dos sistemas de injeção eletrônica é o módulo de controle eletrônico, que recebe os sinais dos sensores, interruptores, bobina de ignição e bateria. Esses sinais são avaliados e processados, transformando-se em um sinal de saída, que acionará os eletro-injetores no momento adequado.

Os principais sensores que esse sistema utiliza para mapear as condições de operação são:

- **Sensor de temperatura da água do motor:** geralmente é um sensor do tipo NTC, que mede e informa ao módulo de controle a temperatura da água do motor;

□ **Sensor de vazão de ar:** mede a quantidade de ar que o motor está admitindo para que a injeção eletrônica defina a vazão de combustível através da largura do pulso do eletro-injetor. Estes sensores geralmente são do tipo anemômetro de fio quente, relaciona a massa de ar admitida com a potência necessária para manter um fio aquecido a uma certa temperatura; pressão absoluta, relaciona a massa de ar admitida com a pressão absoluta; ou ângulo de posição da borboleta, palheta localizada no coletor, em cujo eixo está acoplado um potenciômetro que informa a posição da borboleta, e conseqüentemente, a quantidade de ar admitida pelo motor;

□ **Sensor de temperatura do ar:** este sensor informa ao módulo eletrônico de controle a temperatura do ar admitido, está localizado no sistema de admissão;

□ **Sensor de rotação do motor:** trata-se de uma roda dentada instalada no eixo de manivelas, com uma falha de dois dentes e um sensor indutivo montado no bloco. Quando o motor entra em funcionamento, a roda dentada entra em movimento e a falha passa pelo sensor. Então, é gerada uma tensão de maior amplitude, que é utilizada pelo módulo de controle para reconhecer o PMS do motor;

□ **Sensor de O₂:** conhecido como “sonda lambda”, mede a quantidade de oxigênio presente nos gases resultantes da combustão, controlando a dosagem de combustível.

Existem dois tipos:

Um que apresenta uma faixa pequena de trabalho, ou seja, funciona somente no valor de lambda estequiométrico, é chamada de *Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor* (HEGO).

Outro que apresenta uma faixa mais larga de trabalho, ou seja, apresenta uma resposta linear na faixa de lambda 0,7 a 1,8, denominada “banda larga” (*Wideband*).

□ **Sensor de detonação:** trata-se de um sensor de ruído ou vibração instalado no bloco do motor, tendo a função de informar ao módulo central de injeção a ocorrência do processo de detonação do combustível.

4.2 Motores de navios e embarcações

O motor Diesel é o mais usado a bordo como fonte de propulsão mecânica e gerador de eletricidade. Seja para impelir movimento ao hélice, seja acoplado a um gerador que acione motores elétricos, o motor diesel é barato, confiável, compacto e potente. (Ganesan, 2002)

Os motores diesel, sejam eles quais forem, dividem-se em três classes:

Motores de regime rápido, que trabalham num regime superior a 1000 rpm;

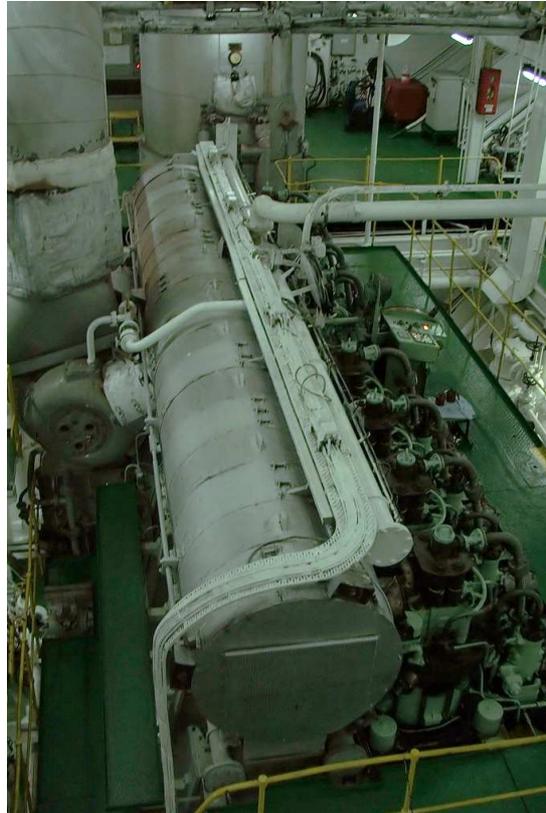
Motores de regime de média velocidade, que trabalham entre 250 e 1000 rpm;

Motores de regime lento, todos aqueles cuja velocidade é inferior a 250 rpm.

Destas três classes de motores, apenas os motores lentos acionam diretamente o hélice de navios, uma vez que altas velocidades impressas ao hélice são nocivas, pois, induzem a cavitação do hélice. O hélice a mover-se rapidamente na água provoca uma depressão. À medida que a pressão diminui, a temperatura à qual se forma vapor de água também diminui. Assim sendo, abaixo de certas pressões, a água evapora à temperatura ambiente, gerando bolhas de vapor que, ao serem arrastadas pelo fluxo da água, saíram da zona de baixa pressão, deixando de se verificar as condições necessárias para que se mantenham no estado gasoso. Assim sendo, implodem instantaneamente, gerando ondas de pressão tais que desgastam as superfícies próximas por erosão.

Relativamente aos motores marítimos, existem navios com motores diesel a dois tempos ou a quatro tempos

linha, 7040 BHP, que motoriza o navio .



Fonte: Ganesan (2002)

Figura 16 - Vista superior do motor Diesel a dois tempos Mitsui B&W 8L45GFC de 8 cilindros em linha, 7040 BHP, que motoriza o navio .



Fonte: Ganesan (2002)

5. NOVOS SISTEMAS DE MOTORES

5.1 Sistema COMMON-RAIL

Consiste numa bomba que fornece alta pressão através de uma rampa comum a todos os injetores, o que permite fornecer uma pressão (de 1350 bar a 1600 bar) constante de injeção, independentemente da rotação do motor, sendo o comando dos injetores feitos por válvulas magnéticas presentes na cabeça dos mesmos. A sua vantagem é um menor ruído de funcionamento, arranque a frio quase instantâneo, e uma clara melhoria de prestações e diminuição da poluição e de consumo. Atualmente é o sistema usado em quase todos os motores diesel,

Segundo a Robert Bosch do Brasil:

O Sistema Common Rail Bosch é um moderno e inovador sistema de injeção diesel. Ele foi desenvolvido para atender à atual demanda do mercado em relação à diminuição do consumo de combustível, da emissão de poluentes e maior rendimento do motor exigidos pelo mercado. Para isto são necessárias altas pressões de injeção, curvas de injeção exatas e dosagem extremamente precisa do volume do combustível. Com a introdução da primeira bomba injetora em linha fabricada em série no ano de 1927, estavam criadas as condições para o emprego do motor diesel de alta rotação em veículos automotivos. O emprego da bomba injetora em linha ainda hoje está em diversos veículos utilitários e motores estacionários, chegando até a locomotivas e navios com pressões de injeção para motores de até cerca de 160 kw por cilindro. Os diferentes requisitos para a utilização dos motores diesel levaram ao desenvolvimento de diversos sistemas de injeção, adequados às respectivas exigências.

O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail" para motores de injeção direta abre perspectivas completamente novas:

- Ampla área de aplicação (para veículos de passeio e utilitários leves com potência de até 30 kw / cilindro, para utilitários pesados chegando até a locomotivas e navios com potência de até 200 kw / cilindro);
- Alta pressão de injeção de até cerca de 1400 bar;

- Início de injeção variável;
- Possibilidade de pré-injeção, injeção principal e pós-injeção;
- Volume de injeção, pressão no "Rail" e início da injeção adaptados a cada regime de funcionamento, assim como;
- Pequenas tolerâncias e alta precisão durante toda a vida útil.

O sistema de injeção de pressão modulada "Common Rail", produção de pressão e injeção são acoplados. A pressão de injeção é produzida independente da rotação do motor e do volume de injeção e está no "Rail" (acumulador de combustível de alta pressão) pronta para a injeção.

Momento e qualidade de injeção são calculados na unidade de comando eletrônica e transportados pelo injetor (unidade de injeção) em cada cilindro do motor através de uma válvula magnética ativada. Com o injetor e a alta pressão sempre iminente, obtém-se uma curva de injeção muito precisa.

Com a ajuda dos sensores a unidade de comando pode captar a condição atual de funcionamento do motor e do veículo em geral. Ela processa os sinais gerados pelos sensores e recebidos através de cabos de dados. Com as informações obtidas ela tem condição de exercer comando e regulagem sobre o veículo e, principalmente, sobre o motor.

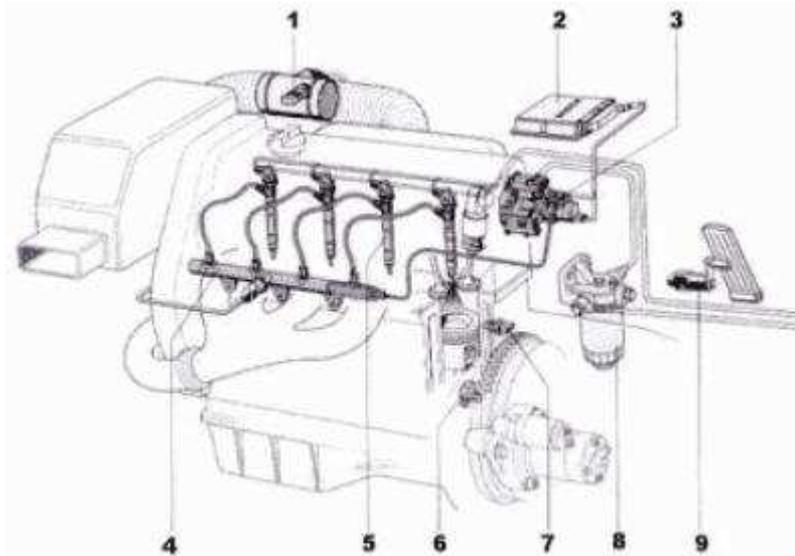
O sensor de rotação do eixo de comando, determina, com o auxílio do efeito "Hall", se o cilindro se encontra no PMS da combustão ou da troca de gás. Um potenciômetro na função de sensor do pedal do acelerador, informa através de um sinal elétrico à unidade de comando, com que força o condutor acionou o pedal (aceleração).

O medidor de massa de ar informa á unidade de comando qual a massa de ar atualmente disponível para assegurar uma combustão possivelmente completa. Havendo um turbocompressor, atua ainda o sensor que registra a pressão de carga. Com base nos valores dos sensores de temperatura do agente de refrigeração e de temperatura do ar. De acordo com o veículos são conduzidos ainda outros sensores e cabos de dados até a unidade de comando para fazer cumprir as crescentes exigências de segurança e de conforto.”

Esta nova tecnologia ainda não está disponível para os motores utilizados nos grupos geradores. Tudo indica que brevemente também os motores estacionários e industriais serão incrementados com novos desenvolvimentos tecnológicos.

Um indicativo importante do sucesso do sistema, por exemplo, é o anúncio da Delphi Diesel de investimento de 2 bilhões de dólares no desenvolvimento das suas linhas de produção para fabricar componentes Common Rail.

Figura 17 - Sistema Common Rail



- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. medidor de massa de ar, | 6. sensor de rotação do eixo da manivela, |
| 2. unidade de comando, | 7. sensor de temperatura do motor, |
| 3. bomba de alta pressão, | 8. filtro de combustível, |
| 4. acumulador de alta pressão (Rail), | 9. sensor do pedal do acelerador. |
| 5. injetores, | |

Fonte: Heisler (2005)

Com o advento destas inovações, muda sensivelmente o perfil do profissional de manutenção de motores, que deverá adquirir conhecimentos também de sistemas digitais e da utilização de ferramentas computadorizadas para diagnóstico de falhas e correção de defeitos.

5.2 .SISTEMA HCCI - Ignição por Compressão de Carga Homogênea

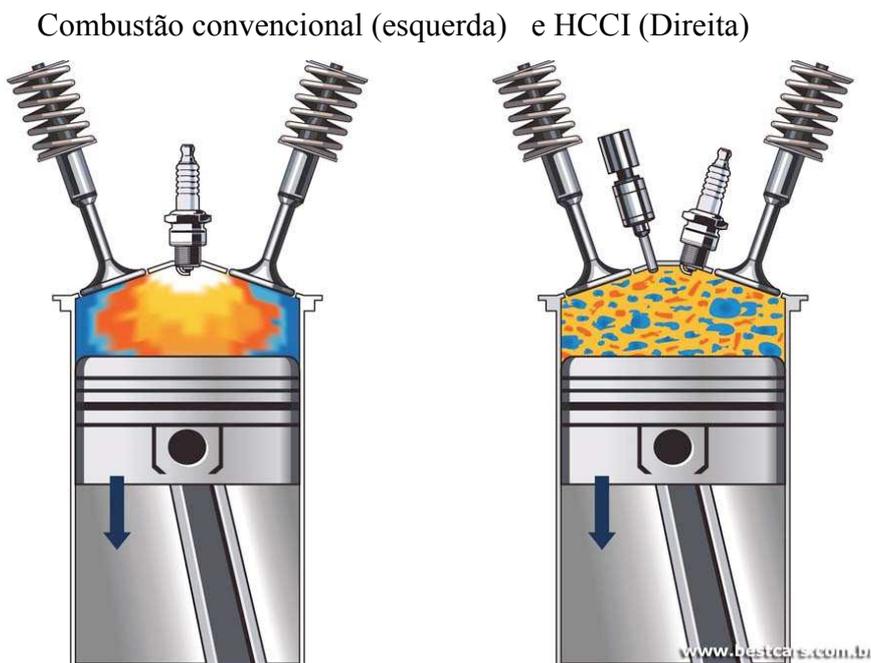
Seu objetivo é aumentar a eficiência do motor Otto por meio de algumas semelhanças com o Diesel e de controle eletrônico mais preciso. A sigla significa Homogeneous Charge Compression Ignition, ou ignição por compressão de carga homogênea. Como no Otto, o combustível e o ar são injetados juntos nas câmaras de combustão, mas, a exemplo do diesel, a compressão da mistura é

que leva à sua combustão, e não uma descarga elétrica. Outra peculiaridade é que a ignição, em uma explosão abrupta, acontece em várias partes da câmara ao mesmo tempo.

Seus principais elementos são a injeção direta de gasolina, o variador de tempo de abertura das válvulas e o sensor de pressão dos cilindros, que envia essa informação à central eletrônica. O objetivo é obter eficiência energética próxima à de um motor diesel, com baixas emissões de poluentes e a construção mais barata do Otto. A emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) é mais baixa que em um motor diesel, mas aumentam as de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, que requerem tratamento em catalisador.

Entre as vantagens estão consumo de combustível até 15% menor, possibilidade de usar taxa de compressão mais elevada e, na comparação com o Otto, ausência de perdas por bombeamento (que ocorrem quando a borboleta de aceleração não está toda aberta por problema ausente no Diesel). Em contrapartida, há desafios: a HCCI é sensível a mudanças de temperatura e pressão do ar ambiente e a variações na qualidade e na octanagem da gasolina. Os projetistas pretendem ampliar sua faixa de atuação, hoje limitada a uma gama de carga (abertura de acelerador) e rotação, em geral condições de baixa demanda de potência. Quando o motor é mais solicitado, volta ao modo convencional de centelha. Deseja-se ainda tornar imperceptível a transição entre esses modos e eliminar o ruído, similar ao de detonação, produzido sob certas condições.

Figura 18 - Comparação entre a combustão convencional e a HCCI



Fonte: Heisler (2005)

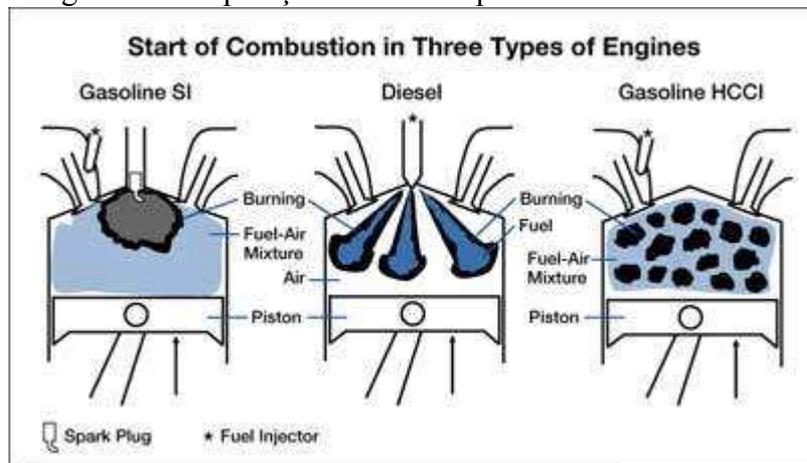
No que se refere à combustão, tanto nos motores diesel quanto nos motores que possuem velas de ignição - como os motores a gasolina, álcool e gás - o combustível deve estar aquecido para que a chama se espalhe rapidamente ao longo de toda a câmara de combustão. No motor HCCI, isto não é necessário porque a combustão já ocorre de forma espalhada. Uma consequência importante é que o combustível pode entrar mais frio na câmara de combustível, diminuindo as emissões de derivados de nitrogênio, os conhecidos gases NOx. E como ele entra numa concentração menor, a emissão de particulados - a desagradável fumaça dos motores diesel - também é desprezível.

Dois fatores são essenciais nesse processo: a temperatura de funcionamento do motor e a qualidade do combustível. Ambos muito difíceis de se prever e controlar. É por isso que, mesmo funcionando otimamente nas bancadas dos laboratórios, os motores HCCI nunca chegaram aos carros.

Os cientistas desenvolveram um sistema que permite que o motor funcione no modo HCCI sempre que possível. No restante do tempo ele funciona com as velas tradicionais. A solução é extremamente simples: um sensor de temperatura determina se o próximo ciclo do motor deverá ocorrer no modo HCCI ou no modo vela de ignição.

Nos primeiros testes, o motor funcionou no modo HCCI em 40% do tempo, o que pode apontar para significativos ganhos em termos de consumo de combustível e emissão de poluentes. Os engenheiros acreditam que a tecnologia poderá ser incorporada nos motores de linha já nos próximos anos.

Fig. 19 - Comparação entre três tipos de combustões



Fonte: Heisler (2005)

6. CONCLUSÃO

Desde o surgimento do motor Diesel, a preferência pelo combustível é patente em toda a esfera global, tanto para o transporte pesado, como acontece no Brasil, quanto para os carros de passeio. Alguns fabricantes de automóveis, na Europa, já têm uma produção que gira em torno de 50% de veículos diesel e outro tanto de gasolina. Essa tendência abrange os motores pesados, inclusive o de navios e embarcações. Procura-se cada vez mais motores que tenham bom desempenho, sejam muito econômicos e permitam grande autonomia com pequeno volume de combustível. O modelo Common Rail e HHCI, vistos neste estudo e usados na atualidade nos motores diesel, apesar de infinitamente mais sofisticado, seguem o mesmo princípio inicial de funcionamento da década de 1960. Viu-se que o Common Rail aumenta a potência e proporciona maior torque em baixas rotações, além de reduzir o consumo de combustível e os níveis de ruídos e de emissões de poluentes, em função de seu sistema contar com uma unidade de controle eletrônico que administra as informações captadas pelos sensores do motor, gerencia os sinais dos atuadores e monitora o funcionamento de todo o conjunto. A partir dessas informações, determina-se a quantidade e momento da injeção, sendo que cada unidade injetora alimenta um cilindro.

Acreditamos que o aperfeiçoamento dos motores, haja vista o desenvolvimento acelerado que se tem percebido nos últimos anos, possa beneficiar significativamente os sistemas de motores utilizados no âmbito naval.

Sugerimos o desenvolvimento de novos estudos que possam detalhar não só funcionamento dos novos sistemas, como também destacar a tendência de novos lançamentos que, certamente, trarão benefícios para a área naval.

Um importante setor é o nuclear, já em evolução nas centrais de geração de energias elétricas nucleares.

Outras duas importantes evoluções são as turbinas a gás e as quasiturbinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – www.abb.com- Contra Rotation Propellers.
- 2- FRAGOSO, Otávio, Rebocadores Portuários, Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Praticagem.
- 3 – TAGART, Robert, Marine Propulsion: Principles & Evolution. Houston, Texas: Gulf Publication Company.
- 4 – HENSEN, Henk. Tug use in port, Rotterdam: the Nautical Institute.
- 5-ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.Disponível em: <http://www.abnt.org.br>.
Acesso em: 09/05/2009
- 6-BAPTISTA, LUIZ AUGUSTO ROCHA, 1999, *Manutenção Preditiva de Motores Diesel Através de Parâmetros Operacionais*, Tese de D.Sc.,COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- 7-BELCHIOR, CARLOS R. P., BARROS, VALÉRIA S., 2004, *Técnicas e Procedimentos de Manutenção*, Apostila de Sistemas Especialistas para Motores de Combustão Interna, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 8-BOSCH. R. Eletrônica em Motores Diesel. *Revista Oficina Brasil*. São Paulo, 2004.
- 9-BOSCH Manual de Tecnologia Automotiva, 25ª edição, 2005
- 10-COZBY, P. C. Métodos de Pesquisa em Ciências do Comportamento. São Paulo: Atlas, 2003.
- 11-FERGUSON, C. R.; Green, R. M.; Luncht, R. P. “Internal Combustion Engines Applied Thermosciences”. *Sci Technol*, 2007
- 12-GANESAN V. Internal combustion engines, 2003, Editora McGraw-Hill
- 13-GUIBET, Jean-Cloude “Fuels and Engines”, *Technology Energy Environment*. Ed.rev. Traduzido por Frank Carr, Institut Français du Pétrole Publications, Paris: Technip, 1999.
- 14-GARCIA, Roberto; *Combustíveis e Combustão Industrial*, Editora Interciência. 2002.
- 15-HEMUS. *Motores Diesel*. São Paulo, Hemus Livraria Editora Limitada, 1978.
- 16-HEISLER, H. *Advanced engine technology*. USA: Hodder Headline Group, 2005.
- 17-HEYWOOD, John B. Internal combustion engine fundamentals USA: McGraw-Hill, 1988.
- 18-LICIANI, R. Motores Diesel Eletronic. *Revista Oficina Brasil*. São Paulo, 2006.
- 19MTU FRIEDRICHSHAFEN – *Diesel Engine 16V 956 TB91* – Description and Operation Manual. 1990.

20-RAVAGNANI, V & GELAIN, F. O Sistema de Injeção Direta Cammon – rail. *Revista Oficina Brasil*. São Paulo, 2005.

21-RIBEIRO, F. Tecnologia HCCI ou Motor Diesel. *Revista Oficina Brasil*. São Paulo, 2007.

22-SAMAHÁ, F. Introdução – A Evolução do Motor. *Revista Oficina Brasil*. São Paulo, 2008.

23-_____. Motores Diesel: O presente, o passado e o futuro. *Revista Oficina Brasil*. São Paulo, 2008

24-SPENCER JOHN. Effective Contamination Control in Fluid Power Systems. Sperry Vickers. 1980.

25-STEFFENS, DAVE, Wartsila North American, Inc., *The Diesel Engine and the Environment*, Dynamic Positioning Conference – September 16-17, 2003.