

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

VICTOR HUGO JOÃO

UMA BREVE ANÁLISE SOBRE MOTORES DIESEL DOIS TEMPOS

RIO DE JANEIRO

2015

VICTOR HUGO JOÃO

UMA BREVE ANÁLISE SOBRE MOTORES DIESEL DOIS TEMPOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Prof. Mestre Jander Barbosa

dos Anjos

RIO DE JANEIRO

2015

VICTOR HUGO JOÃO

UMA BREVE ANÁLISE SOBRE MOTORES DIESEL DOIS TEMPOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Prof. Mestre Jander Barbosa dos Anjos

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico esta monografia aos meus pais que me ajudaram muito em toda a minha jornada, aos meus familiares, aos meus amigos, que me apoiaram durante o trabalho e ao meu orientador sempre presente e muito colaborador.

Agradeço primeiramente à Deus, pois sem ele nada disso seria possível. Aos meus pais que me deram todo o apoio possível também. Agradeço também a todos que de alguma forma me ajudaram com ideias e fizeram parte de todo esse trabalho, e sou grato ao meu orientador por sempre me guiar a fazer tudo da melhor forma possível e me atender sempre de bom humor.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

(AYRTON SENNA)

RESUMO

A bordo dos mais diversos navios mercantes, estamos fadados a entender muito bem sobre motores a Diesel, se quisermos entender como um navio funciona. Dentro do conhecimento de motores a Diesel, temos o motor de dois tempos (MCP) e os motores de quatro tempos (MCA), os quais são citados um pouco mais detalhadamente durante esta monografia. Entenderemos um pouco sobre a história dos motores a Diesel, como eles foram criados e o porquê de sua necessidade. Falaremos também sobre os mecanismos e os processos empregados nos motores, como funcionam partes importantes do motor e como se explica seu ciclo de funcionamento. O óleo diesel, que é o combustível usado por esses motores deve ser injetado corretamente para gerar a devida potência no motor e também deve-se tomar alguns cuidados com os produtos do escapamento dos motores, que podem ser muito danosos ao meio ambiente. Por fim, veremos o famoso sistema de injeção eletrônica que rege os motores mais modernos, zelando pela correta injeção em cada cilindro sobre a sua devida pressão e monitorando todos os parâmetros do motor por meio de sensores e atuadores.

Palavra-chave: Motor. Diesel. Consumo. Potência. Ciclo. Termodinâmica. Mecânica. Injeção. Combustível. Lavagem.

ABSTRACT

On board the various Merchant ships around the world, if we want to learn how a ship really works, we are guided to understand a lot about Diesel engines. Talking about Diesel engines, we could say there is the two stroke diesel engine, and there is the four stroke diesel engine, which are explained more precisely in the next pages of this final paper. We'll learn something about the history of the very first Diesel engines, how they were created and how come they became so necessary. We are also learning about some mechanisms and processes used in this engines, how important parts of the engine work and how their cycle is explained. The Marine Diesel Oil, which is used by this kind of engines, it must be injected correctly in order to unleash the power the ship needs. We also have to take care of some exhaust gases that can be harmful to the environment. At last, we are explaining something about the common rail system that injects fuel into the combustion chamber at the correct pressure and temperature. It also commands all the parameters of the engine using sensors and actuators.

Keyword: Engine. Diesel. Consumption. Power. Cycle. Thermodynamics. Mechanics. Injector. Fuel. Scavenging.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OS PRIMEIROS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	10
2.1	Primeiras tentativas de construção de um motor	10
2.2	Começo da produção de motores em grande escala	11
2.3	A criação do motor Diesel	12
3	O FUNCIONAMENTO DO MOTOR DIESEL DOIS TEMPOS	14
3.1	Motivos do uso dos motores e tipo dos arranjos em navios	14
3.2	Princípio de operação dos motores dois tempos	14
3.3	Ciclo Diesel	15
3.4	Acontecimentos em cada tempo do motor	16
3.5	O processo de lavagem	17
4	REDUÇÃO DE POLUIÇÃO DOS MOTORES	20
4.1	Importância da MARPOL anexo VI	20
4.2	Métodos utilizados para reduzir as emissões dos motores	20
4.3	Óxidos de Nitrogênio (NOx)	21
4.4	Óxidos de Enxofre (SOx)	21
4.5	Vistorias	23
4.6	Qualidade do óleo combustível	24
5	INJEÇÃO ELETRÔNICA	26
5.1	O porquê da injeção eletrônica	26
5.2	Sistema Common Rail	26
5.3	Funcionamento do sistema de injeção eletrônica	26
5.4	Sensores e atuadores	27
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

De que forma são impulsionados os navios e demais veículos na atualidade? Como funciona os mecanismos que tornam possível o deslocamento por estes meios? Estas perguntas são perguntas que podem estar presentes na cabeça de muitas pessoas, porém elas têm respostas razoavelmente simples. Nesta monografia sobre motores Diesel estaremos mais abrangentes à assuntos relacionados a navios, mas também podem se encaixar para motores de menor porte como de carros e motos por exemplo.

Motores de combustão interna, e mais precisamente motores Diesel são muito potentes, mas para isso exigem muito empenho em vários setores de sua construção. Deve-se estar sempre atento quanto ao arrefecimento do motor, quanto a lubrificação de suas diversas partes móveis, quanto aos mecanismos de partida do motor e principalmente quanto ao gasto de óleo combustível, pois este está diretamente relacionado aos gastos dispendidos pelo motor.

Os motores Diesel são os equipamentos mais indicados para o deslocamento de navios que efetuam transporte marítimo, pela sua grande potência produzida. Guiar os navios através dos mares pode ser uma tarefa muito árdua para o motor, por isso é necessário estar a par de todas as variáveis e estar a par de como funcionam todas as etapas que o motor venha a imprimir. Seus ciclos devem ser estudados e monitorados frequentemente, visando entregar ao navio sempre a maior potência possível no momento.

Imaginando todas essas dificuldades que possam surgir no trabalho a bordo, esta monografia fala um pouco mais afundo sobre as etapas que ocorrem dentro do motor durante a queima de combustível, restrições para queima de combustível que visa minimizar a poluição do ar que é gerada pelos gases de descarga, o sistema de injeção elétrica que vem a otimizar os motores, e também falaremos um pouco sobre a história dos motores, como surgiram os primeiros motores e a forma que eles evoluíram.

2 OS PRIMEIROS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

2.1 Primeiras tentativas de construção de um motor

Desde o início dos tempos procura-se desenvolver maneiras eficientes de obter-se energia mecânica a partir de outras energias como a térmica ou a química existentes em diversos combustíveis. As energias liberadas e transformadas em energia mecânica a partir de processos de combustão no interior de uma máquina que chamamos de motor.

Pode-se dizer que a primeira tentativa na história da construção de um motor de combustão interna, usando combustível no intuito de conseguir trabalho útil, iniciou-se no século XVII. Christiaan Huygens, em 1673 utilizou a explosão da pólvora com o objetivo de elevar um pistão dentro de um cilindro. Sua proposta tinha um arrefecimento dos gases proveniente da combustão que baixava sua pressão e provocava a descida do pistão e assim, provocaria uma subida do carvão ou da água pela ação da pressão atmosférica. Tal proposta pode ter sido baseada em uma das ideias de Leonardo da Vinci, em 1508, quando o mesmo propôs a elevação de certo peso através do fogo, fazendo uso do mesmo princípio usado por Huygens.

Ainda no século XVII, a pólvora foi usada como combustível, porém agora com outro objetivo, o de movimentar bombas de água. Este feito foi realizado por Sir Samuel Morland, criando assim o primeiro e rudimentar motor de combustão interna com pistões.

Porém, os motores a pólvora possuíam uma grande desvantagem que não poderia passar despercebida como a possível destruição dos materiais constituintes dos motores, realizada pelo dióxido de enxofre, proveniente da combustão, que resultaria na formação de ácido sulfúrico.

Logo outros motores, utilizando novos combustíveis foram sendo pesquisados, até que no início do século XIX, foi proposto e desenvolvido o “motor a água”. Cujo motor usava do conceito de que a decomposição da água por eletricidade, esta gerada por pilhas galvânicas, originaria oxigênio e hidrogênio, que seriam queimados no interior de um cilindro. Tal queima geraria pressão, responsável por movimentar o pistão, tendo sua volta realizada após arrefecimento do vapor de água que geraria uma zona de baixa pressão, quase vácuo, repetindo o ciclo continuamente, porém tal

motor não teve sucesso uma vez que o mesmo tinha baixa eficiência, devido a baixa taxa de decomposição da água, entre outros.

2.2 Começo da produção de motores em grande escala

Em 1860 observa-se um conceito realmente prático para o Motor de Combustão Interna. O primeiro motor produzido em grande escala (cerca de cinco mil unidades em cinco anos), foi construído por um mecânico alemão chamado Jean Joseph Ettiënne Lenoir, com uma potência que não ultrapassaria 6 cavalos, com uma eficiência máxima de 5%. O motor de Lenoir alavancou um grande desenvolvimento mecânico em seu século, além de ter tomado vantagem sobre as demais máquinas devido a sua versatilidade, menor peso por potência, rápida partida se comparado aos demais e o principal, por sua eficiência muito superior as máquinas a vapor. O conceito de funcionamento do motor de Lenoir consistia na captação pelo cilindro de gás e ar durante a primeira metade do movimento do pistão, os quais seriam inflamados a partir de uma faísca, aumentando a pressão no interior do cilindro, forçando o pistão na segunda metade de seu movimento, realizando trabalho.

Cerca de sete anos após a construção de Lenoir, surge um novo pesquisador, tendo suporte de Eugen Langen, subiu a eficiência de 5% para 11%. Tal pesquisador era Nicolaus A. Otto. Porém a construção de Otto possuía alguns problemas, que foram solucionados quando o mesmo desenvolveu um motor cujo ciclo era de quatro tempos. Sendo pioneiro nessa nova forma de motor, Otto alcançou enorme redução de volume e tamanho conseqüentemente o peso porém a eficiência continuou praticamente igual.

Após o grande legado que Otto deixou com sua criação, novos desenvolvimentos chegaram. Como por exemplo, na década de 1880, vários engenheiros como Dugald Clerck, Karl Benz já haviam desenvolvido motores a dois tempos, no qual os processos de admissão e exaustão ocorriam no início da compressão e após a combustão. Mas apenas em 1892 uma nova forma de motor de combustão interna surgiu, a qual será estudada mais adiante, forma essa que apresentava o conceito de iniciar a combustão inserindo-se combustível de forma líquida no ar, este previamente aquecido por meio da compressão do pistão aumentando significativamente a eficiência dos motores, cerca de duas vezes mais em relação aos demais motores.

2.3A criação do motor Diesel

O grande criador do motor a Diesel foi Rudolf Diesel, que um ano após o seu desenvolvimento propôs ainda um ciclo que funcionava a pressão constante, aumentando a eficiência de seu motor. Esse motor recebeu a denominação de “motor térmico racional”.



Rudolf Diesel

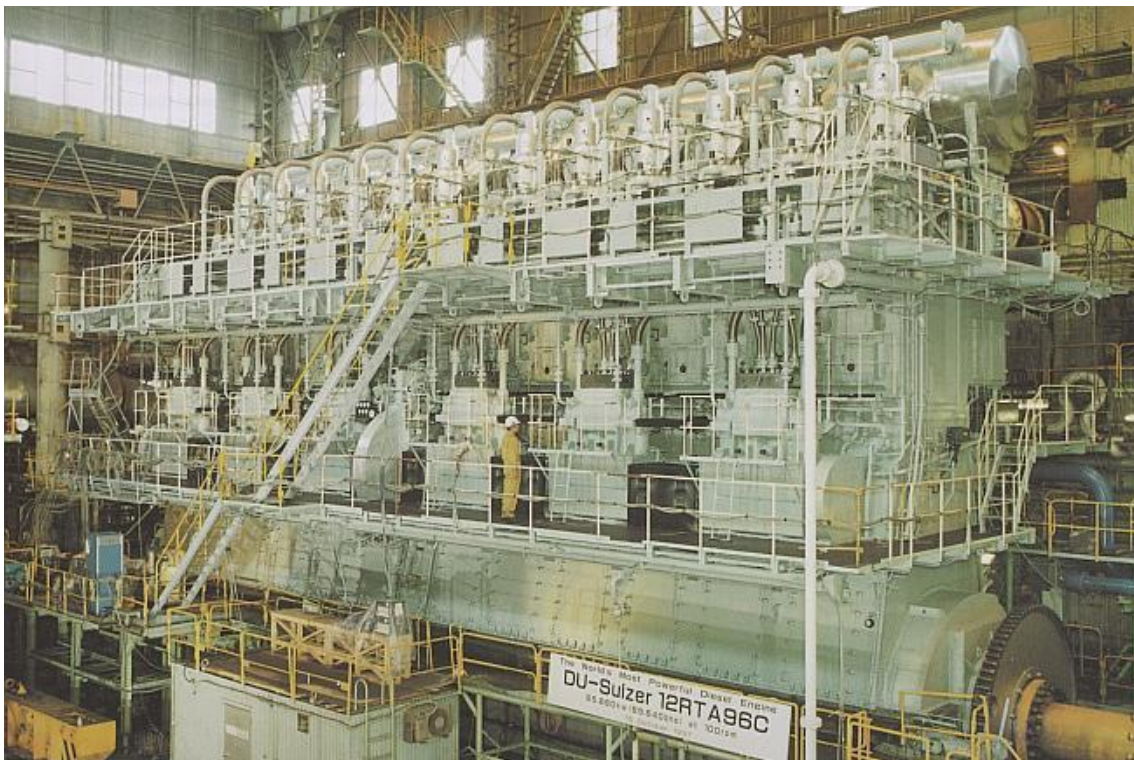
Fonte: <http://gallery4share.com/r/rudolf-diesel-invention.html>

É fato que os motores mais usados nos dias de hoje abordo são os motores diesel dois tempos. Porém esses motores não são fáceis de ser projetados, eles requerem muita precisão de cálculos na sua criação e também conhecimento no seu manuseamento. O maior e mais potente motor a diesel do mundo é o Wärtsilä-Sulzer 14RT-flex96C, e as informações seguintes referem-se especificamente a ele, de maneira geral podem ser aplicadas a qualquer motor diesel dois tempos.

Esse tipo de motor é usado para mover os maiores navios do mundo, os chamados ULCS (Ultra-Large Container Ships). Os cargueiros que usam este motor costumam ter capacidade para carregar até 16 mil contêineres, e podem medir até 400 metros de comprimento. O Wärtsilä-Sulzer 14RT-flex96C mede 13,5m de altura, 26,6m de comprimento e pesa mais de 2.300 toneladas, compara-se a altura de um

prédio de quatro andares. A alimentação do motor é feita por um sistema common-rail de duas flautas, uma para cada sete cilindros no caso do 14RT, suas válvulas são operadas por um sistema hidráulico comandado por uma central eletrônica, sem o eixo de comando de válvulas. Sua faixa de giros é de 22 a 120 rpm. Mesmo girando em baixas rotações, o motor tem números absurdos:

Ele possui 108.878 cavalos de potência e 775.376 mkgf de torque, que são suficientes para fazer um navio de 170.000 toneladas navegar até a 27 nós. Estes números mostram que a melhoria na eficiência dos motores ajudam o transporte marítimo a gerarem aumento em seus lucros e redução de tempo.



Motor Wärtsilä-Sulzer 14RT-flex96C

Fonte: <http://gcaptain.com/emma-maersk-engine/>

3 O FUNCIONAMENTO DO MOTOR DIESEL DOIS TEMPOS

3.1 Motivos do uso dos motores e tipo dos arranjos em navios

Os motores a Diesel de dois tempos são os usados em ampla escala no meio de transporte marítimo desde sua criação, seu elevado torque proporciona o transporte de grandes quantidades de carregamentos com uma velocidade satisfatória. Porém, todos esses benefícios possuem custos que devem ser compartilhados com a tripulação a bordo. Durante o processo de funcionamento destes equipamentos, devem-se tomar ciência quanto a alguns parâmetros apresentados pelo motor aos inúmeros gastos gerados.

O fator preponderante no motor dois tempos é que, um curso de expansão corresponde a um curso de trabalho. Esse fato é possível pois o bombeamento não é efetuado nos cilindros, mas em um mecanismo separado, o qual chamamos de bomba de ar de lavagem. Devemos lembrar que, para uma potência definida, necessita-se de uma capacidade de ar definida e que o motor de dois tempos deve admitir em seus cilindros a mesma quantidade de ar por unidade de tempo, que seu motor equivalente de quatro tempos, para a mesma potência fornecida.

3.2 Princípio de operação dos motores dois tempos

Os princípios da operação do motor dois tempos são os mesmos do quatro tempos, apesar das diferenças de projeto e disposição mecânica. Tais motores possuem janelas que tem sua passagem liberada pelo pistão, próximo ao PMI (ponto morto inferior). Estas janelas se situam apenas um dos extremos do cilindro, mas são divididas em dois grupos, um para admissão e outro para descarga. De acordo com o arranjo de cada cilindro, essas janelas são abertas e fechadas de formas diferentes. Em êmbolos opostos, ou cilindros em U, as janelas de admissão são abertas por um pistão e as de descarga por outro. Em outros tipos de arranjo para cilindros, existem válvulas controladas pelo pistão, como pode-se ver nas imagens. A palavra "janela" é utilizada para indicar as aberturas para admissão e descarga, ainda que em alguns casos as aberturas que são responsáveis por esse fluxo de ar, mistura, e gases de descarga, possam ser controladas por válvulas.

3.3Ciclo Diesel

Em prol do conhecimento do funcionamento de um motor Diesel, é necessário conhecer alguns pontos inerentes à termodinâmica, que se referem à teoria de máquinas térmicas, mais concretamente aos ciclos térmicos. O ciclo Diesel é a realidade que move os motores Diesel, e também dá nome ao motor que obedece ao mesmo ciclo. A realidade não difere muito do modelo teórico mostrado a seguir, mas devido a variados fatores, o ciclo térmico não passa mesmo disso. Na prática, o funcionamento possui algumas diferenças.

Para o ciclo teórico, estão representadas nas figuras, as evoluções mediante as propriedades analisadas. O gráfico $P \times V$ mostra a evolução segundo a pressão e o volume específico, o gráfico $T \times S$, a relação entre a temperatura e a entropia.

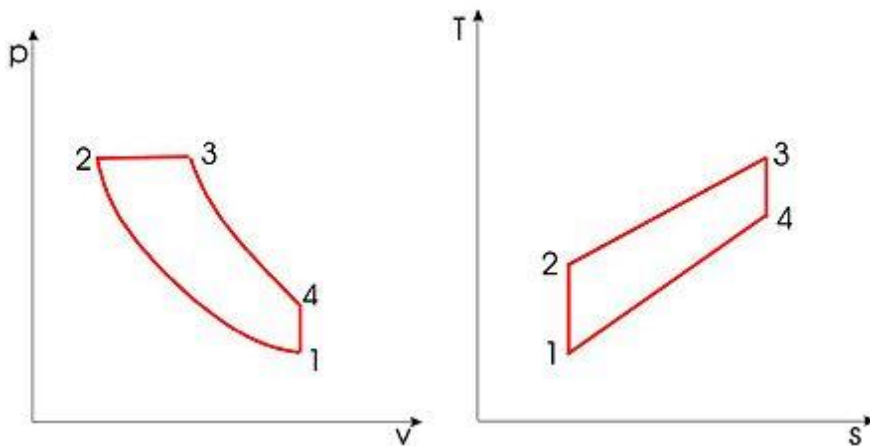
Em ambos os casos, a evolução é:

1 ~ 2 : Compressão isentrópica

2 ~ 3 : Fornecimento de calor a pressão constante (isobárico)

3 ~ 4 : Expansão isentrópica

4 ~ 1 : Perda de calor a volume constante



3.4 Acontecimentos em cada tempo do motor

Na maioria das aplicações, os motores Diesel funcionam a quatro tempos. Inclusive podemos observar a bordo os 3 motores de combustão alternativos de quatro tempos, que servem para auxiliar o motor principal dois tempos, além de geração de energia. O ciclo inicia-se com o êmbolo no ponto morto superior (PMS). A válvula de admissão está aberta, e o êmbolo ao descer aspira o ar para dentro do cilindro.

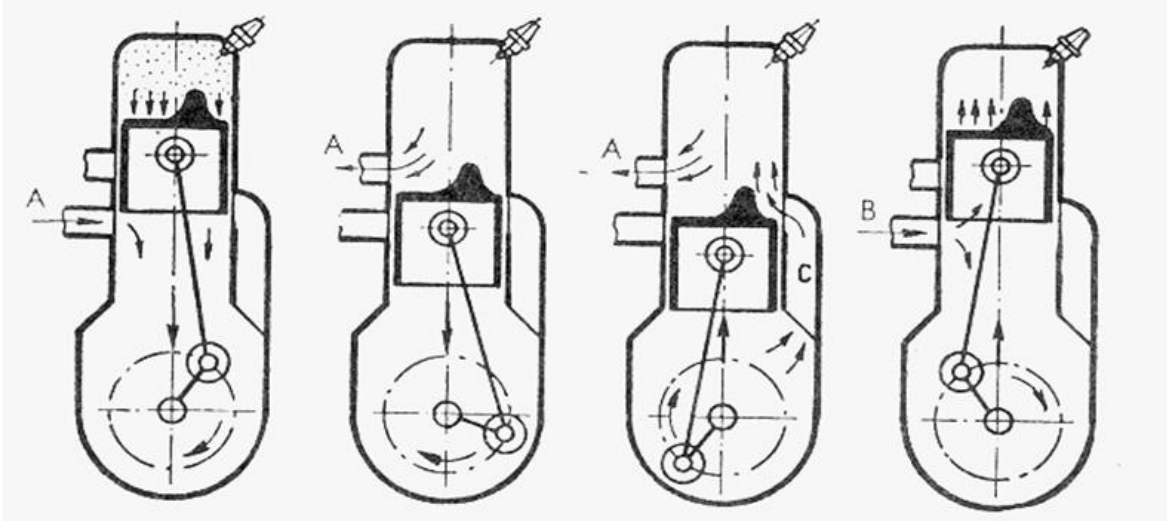
O êmbolo atinge o Ponto Morto Inferior (PMI), a válvula de admissão fecha, e inicia-se então a compressão. A temperatura do ar dentro do cilindro aumenta gradativamente devido à diminuição do volume.

Pouco antes do PMS o combustível começa a ser pulverizado pelo ejetor em finas gotículas, misturando-se com o ar quente até que se dá a combustão. A combustão é controlada pela taxa de injeção de combustível, ou seja, pela quantidade de combustível que é injetado. O combustível começa a ser injetado um pouco antes do PMS devido ao fato de atingir a quantidade suficiente para uma perfeita mistura, de ar e combustível, e conseqüentemente uma boa combustão.

A expansão começa após o PMS do êmbolo com a mistura na proporção certa para a combustão espontânea, onde o combustível continua a ser pulverizado até momentos antes do PMI.

O ciclo termina com a fase de exaustão, onde o embolo retorna ao PMS, o que faz com que os gases de combustão sejam expulsos do cilindro, retomando assim o ciclo.

No caso dos motores de dois tempos, o ciclo é completado a cada volta, a admissão não é feita por válvulas, mas sim por janelas.



Ciclo dois tempos

Fonte: Google Imagens

Como podemos observar na imagem, temos todos os estágios do ciclo do motor dois tempos. Vale lembrar que nas imagens é possível observar uma vela, que faz o trabalho da ignição nos motores Otto, aparato que não é necessário nos motores Diesel, já que o óleo Diesel entra em combustão apenas com a temperatura gerada pela compressão do pistão na área da câmara de combustão.

Da esquerda para direita podemos observar os processos de combustão, exaustão, aspiração e compressão.

3.50 processo de lavagem

Após a abertura das janelas de descarga, a pressão do cilindro cai rapidamente no processo de descompressão. O ângulo de descompressão é definido como o ângulo de manivela compreendido entre a abertura da janela de descarga e o ponto em que a pressão do cilindro iguala a da descarga. Depois do processo de descompressão, a pressão do cilindro normalmente cai abaixo da pressão de descarga, por um período de tempo correspondente a poucos graus, devido a inércia dos gases. Logo após o início da abertura das janelas de descarga, as janelas de admissão são abertas e, tão logo a pressão do cilindro caia abaixo da pressão de lavagem, a mistura fresca escoar para o interior do cilindro. Este escoamento perdura enquanto permanecerem abertas as janelas de admissão e a pressão total de admissão exceder a do cilindro. Durante o escoamento da mistura fresca através das janelas de admissão, os gases de descarga continuam a descarregar-se através das

janelas de descarga, como resultado do escoamento a alta velocidade no período de descompressão e também, devido ao eventual aumento de pressão no cilindro, acima da pressão do sistema de descarga, decorrente do escoamento da mistura fresca através das janelas de admissão.

O ângulo de manivela durante o qual as janelas de admissão e descarga estão abertas é chamado de ângulo de lavagem, e o intervalo de tempo correspondente é o período de lavagem. O fator que determina qual das janelas deverá fechar primeiro - admissão ou descarga- é o projeto do cilindro. Após o fechamento de todas as janelas, o ciclo prossegue como em qualquer motor, na sequência. Nos motores de dois tempos, as janelas de descarga devem abrir bem antes do PMI, a fim de que a pressão no cilindro seja substancialmente igual à pressão do sistema de descarga, antes que o pistão atinja o ponto morto inferior, de forma a evitar que um excesso de gases não queimados retornem para o sistema de admissão. Esta característica é destacada no reconhecimento de diagramas do indicador no motor de dois tempos.

As janelas de admissão de um motor dois tempos podem receber apenas ar, sendo o combustível injetado posteriormente nos cilindros, ou os gases de admissão podem consistir de uma mistura de ar e combustível -não usado nos motores diesel-. O termo mistura fresca refere-se ao fluido que passa pelas janelas de admissão.

No processo de lavagem, a mistura fresca empurra os gases residuais, sem misturar ou trocar calor com eles, e tal processo continua até que os gases queimados sejam totalmente substituídos pela mistura fresca, e neste ponto cessa o escoamento. Admitindo que as janelas de descarga permaneçam abertas durante o processo de lavagem, e que elas não oferecem restrições ao escoamento, o processo ideal enche o cilindro no ponto morto inferior, na temperatura de admissão e pressão de descarga. Nós definimos temperatura e pressão de admissão, e pressão de descarga, como valores que seriam medidos em grandes tanques ligados às janelas de admissão e descarga. Observa-se que, na descrição do processo idealizado de lavagem, não apenas o cilindro é enchido com mistura fresca, mas também, nenhuma parcela desta última escapa pelas janelas de descarga e, conseqüentemente, toda a mistura fornecida permanece para participar da combustão e expansão subsequente. Nos motores hoje em dia, a mistura fresca naturalmente se combina e troca calor com os gases residuais, durante o processo de lavagem, e a parte da mistura fresca é

usualmente perdida através das janelas de descarga. Entretanto, ainda que os motores reais de dois tempos jamais realizem o processo ideal de lavagem, eles podem aproximar-se dele de forma variável, conforme as condições de operação e o projeto o permitam. A consideração do processo ideal de lavagem torna possível a definição dos termos que são úteis na medida da efetividade do processo atual de lavagem.

4 REDUÇÃO DE POLUIÇÃO DOS MOTORES

4.1 Importância da MARPOL anexo VI

Analisando o funcionamento dos motores a Diesel descritos anteriormente, podemos observar que eles geram gases de descarga originados da queima do óleo Diesel. Esses gases são danosos à atmosfera e por isso sua emissão deve ser controlada. As regras para prevenção da poluição do ar causada por navios estão contidas no anexo VI da convenção MARPOL. Esta convenção possui alguns itens que são de bastante relevância para o funcionamento do motor dentro do regime de redução de poluição que veremos a seguir.

Temos as seguintes definições segundo a MARPOL Anexo VI:

“Emissão significa qualquer liberação de substâncias ao controle pelo Anexo VI, lançada por navios na atmosfera ou no mar.”

“Área de controle de emissão significa uma área em que é exigida a adoção de medidas especiais obrigatórias para as emissões de navios, para impedir, reduzir e controlar a poluição do ar por NO_x ou por SO_x e por matéria sob a forma de partículas, ou pelos três tipos de emissões, e consequentes impactos adversos sobre a saúde humana e o meio ambiente.”

“Estratégia irracional de controle de emissão significa qualquer estratégia ou medida que, quando o navio é operado em condições normais de utilização, reduz a eficácia de um sistema de controle de emissão a um nível inferior ao que é esperado nos procedimentos de teste de emissões aplicáveis.”

“Motor Diesel marítimo significa qualquer máquina alternativa de combustão interna que funcione com um combustível líquido ou com dois tipos de combustível, à qual se aplique a Regra 13 deste Anexo, inclusive sistemas recalque/mistos, se usados.”

4.2 Métodos utilizados para reduzir as emissões dos motores

Motor- Atraso ao início da injeção, aumento da relação de compressão e aumento do excesso de ar

Sistema de injeção de combustível- Alterações no sistema de injeção. Alterações na estratégia de injeção. Otimização do projeto dos injetores.

Adição de água- Emulsão água-combustível. Adição direta de água. Umidificação do ar de sobrealimentação.

4.3 Óxidos de Nitrogênio (NOx)

As regras relativas às aplicações dos óxidos liberados pelos motores diesel devem contemplar:

- 1- Todo motor diesel com uma potência de saída superior a 130kW que esteja instalado num navio construído em 1º de Janeiro de 2000, ou depois;
- 2- Todo motor diesel com uma potência de saída superior a 130 kW que sofra uma conversão de vulto em 1º de Janeiro de 2000 ou depois.

As regras relativas ao Anexo VI não se aplicam a:

1-Motores diesel de emergência, motores instalados em embarcações salva-vidas e qualquer dispositivo ou equipamento destinado a ser utilizado unicamente em caso de emergência;

2-Motores instalados em navios empregados unicamente em viagens em águas sujeitas à soberania ou à jurisdição do Estado da bandeira que o navio estiver autorizado a arvorar, desde que tais motores estejam sujeitos a uma medida alternativa de controle de NOx, estabelecida pela Administração.

4.4 Óxidos de Enxofre (SOx)

- 1- O teor de enxofre de qualquer óleo combustível utilizado a bordo de navios não deverá ultrapassar 4,5% m/m;
- 2- A média mundial de teor do enxofre nos óleos combustíveis residuais fornecidos para utilização a bordo de navios deverá ser monitorada, levando-se em conta as diretrizes a serem elaboradas pela Organização;
Prescrições dentro das áreas de controle de emissões de SOx
- 3- Para os efeitos desta regra, as áreas de controle de emissões de SOx deverão abranger:
 - A) A área do Mar Báltico, como definida na Regra 10.1.b do Anexo I da MARPOL; a área do Mar do Norte, como definida na Regra 5.1.f do Anexo V da MARPOL;

- B) Qualquer outra área marítima, incluindo áreas portuárias, estabelecida pela Organização de acordo com os critérios e procedimentos para o estabelecimento de áreas de controle de emissões de SOx com relação à prevenção da poluição do ar causada por navios, contidos no apêndice III do Anexo VI da MARPOL;
- 4- Enquanto os navios estiverem dentro das áreas de controle de emissões de SOx, pelo menos uma das seguintes condições deverá ser atendida:
- A) O teor de enxofre do óleo combustível utilizado a bordo dos navios numa área de controle de emissões de SOx não ultrapasse 1,5% m/m;
- B) Seja utilizado um sistema de limpeza dos gases de descarga, aprovado pela Administração levando em consideração as diretrizes a serem elaboradas pela Organização, para reduzir a emissão total de óxidos de enxofre pelos navios, abrangendo tanto os motores auxiliares como os da propulsão principal, a 6 g Sox/kW ou menos, calculada em função do peso total da emissão de bióxido de enxofre. Os resíduos provenientes da utilização daquele equipamento não deverão ser descarregados em portos, enseadas e estuários fechados, a menos que possa estar perfeitamente documentado pelo navio que aqueles resíduos não causam qualquer impacto adverso aos ecossistemas daqueles portos, enseadas e estuários fechados, com base nos critérios informados a Organização pelas autoridades do Estado do Porto. A Organização deverá divulgar os critérios a todas as Partes da Convenção;
- C) Seja empregado qualquer outro método tecnológico que possa ser verificado cujo emprego possa ser imposto, para limitar as emissões de SOx a um nível equivalente ao mencionado no subparágrafo B). Estes métodos deverão ser aprovados pela Administração, levando em conta as diretrizes a serem elaboradas pela Organização.
- 5- O teor de enxofre do óleo combustível a que se referem o parágrafo 1 e o parágrafo 4.A da regra 14 deverá ser documentado pelo fornecedor, como exigido pela Regra 18 do Anexo VI
- 6- Os navios que utilizarem óleos combustíveis distintos para cumprir o disposto no parágrafo 4.1 da regra 14 deverão dar um tempo suficiente para que, antes de entrar numa área de controle de emissões de SOx seja retirado do sistema de serviço de óleo combustível todo o combustível que tiver um teor de enxofre

superior a 1,5% m/m. O volume de óleos combustíveis com um baixo teor de enxofre contido em cada tanque, bem como a data, a hora e a posição do navio quando tiver sido concluída qualquer operação de mudança de combustível, deverão ser registrados num livro registro como o prescrito pela Administração.

- 7- Durante os primeiros 12 meses imediatamente após a entrada em vigor do presente Protocolo, ou de uma emenda ao presente Protocolo estabelecendo uma determinada área de controle das emissões de SO_x, de acordo com o parágrafo 3.B, os navios que entrarem numa área de controle das emissões de SO_x mencionada no parágrafo 3.A, ou estabelecida com base no parágrafo 3.B, estarão dispensados de cumprir as exigências dos parágrafos 4 e 6 e as exigências do parágrafo 5, na medida em que atendam ao disposto no parágrafo 4.A

4.5 Vistorias

Todo navio de arqueação bruta igual a 400 ou mais, e toda plataforma de perfuração fixa e flutuante, e outras plataformas, deverão ser submetidos às vistorias abaixo especificadas;

No caso de navios com arqueação bruta menor que 400, a Administração pode estabelecer as medidas adequadas para assegurar que sejam atendidos os dispositivos aplicáveis deste Anexo;

Um Certificado Internacional de Prevenção da Poluição do Ar deverá ser emitido por um período especificado pela Administração, que não deverá ser superior a cinco anos;

Quando um navio estiver num porto ou num terminal ao largo, sob a jurisdição de uma outra Parte do Protocolo de 1997, estará sujeito a ser inspecionado por funcionários devidamente autorizados por aquela parte com às exigências operacionais estabelecidas no Anexo VI, quando existirem motivos concretos para acreditar que o Comandante ou a tripulação não esteja familiarizada com os procedimentos de bordo essenciais com relação a prevenção da poluição do ar causada por navios.

4.6 Qualidade do óleo combustível

- 1- O óleo combustível para fins de combustão, entregue e utilizado a bordo de navios aos quais aplique-se este Anexo, deverá atender às seguintes exigências:
 - A) Exceto como disposto no subparágrafo b:
 - I- O óleo combustível deverá ser constituído de misturas de hidrocarbonetos derivados do refino de petróleo. Isto não deverá impedir o acréscimo de pequenas quantidades de aditivos destinados a melhorar alguns aspectos do seu desempenho;
 - II- O óleo combustível não deverá conter ácidos inorgânicos;
 - III- O óleo combustível não deverá conter qualquer substância acrescentada a ele, ou qualquer resíduo químico que; coloque em risco a segurança dos navios, ou afete de maneira adversa o desempenho das máquinas, ou seja nocivo às pessoas, ou contribua de um modo geral para aumentar a poluição do ar.
 - B) O óleo combustível para fins de combustão, proveniente de outros métodos que não refino de petróleo, não deverá:
 - I- Ter um teor de enxofre superior ao estabelecido na Regra 14 do Anexo VI;
 - II- Fazer com que o motor ultrapasse os limites de emissão de NOx estabelecidos na Regra 13 3.a do Anexo VI da MARPOL;
 - III- Conter ácidos inorgânicos; e
 - IV- Colocar em risco a segurança dos navios, ou afetar de maneira adversa o desempenho das máquinas, ou ser nocivo às pessoas, ou contribuir de um modo geral para aumentar a poluição do ar.
- 2- Esta regra não se aplica ao carvão em sua forma sólida, nem aos combustíveis nucleares.
- 3- Os detalhes relativos ao óleo combustível para fins de combustão, entregue e utilizado a bordo de todo navio sujeito às Regras 5 e 6 do Anexo VI da MARPOL, deverão estar registrados numa nota de entrega de óleo combustível para consumo do navio, que deverá conter pelo menos as informações estabelecidas no apêndice V deste Anexo.

- 4- A nota de entrega de combustível para consumo do navio deverá ser mantida a bordo do navio num lugar em que esteja rapidamente disponível para ser inspecionada em todos os momentos razoáveis. Ela deverá ser mantida por um período de três anos após o óleo combustível ter sido entregue a bordo.
- 5- A) A autoridade competente do Governo de uma Parte do Protocolo de 1997 poderá inspecionar as notas de entrega de combustível para consumo do navio a bordo de qualquer navio ao qual aplique-se este Anexo enquanto o navio estiver em seus portos ou terminais ao largo, poderá tirar uma cópia de cada nota de entrega, e poderá solicitar ao Comandante, ou à pessoa encarregada do navio, que ateste que cada cópia é uma cópia autêntica da nota de entrega do combustível para consumo do navio. A autoridade competente poderá verificar também o teor de cada nota mediante consulta ao porto em que ela tiver sido emitida.

B) A inspeção das notas de entrega do combustível para consumo do navio e a tirada de cópias pela autoridade competente, com base neste parágrafo, deverão ser feitas o mais rápido possível, sem causar atrasos indevidos ao navio.

6- A nota de entrega do combustível para consumo do navio deverá estar acompanhada de uma amostra representativa do óleo combustível entregue, levando-se em conta as diretrizes a serem elaboradas pela Organização. Ao término do recebimento do óleo combustível, a amostra deverá ser lacrada e assinada pelo representante do fornecedor e pelo Comandante, ou pelo oficial encarregado, e mantida sob o controle do navio até que o óleo tenha sido significativamente consumido, mas, de qualquer modo, por um período não inferior a 12 meses a partir da data de entrega.

5 INJEÇÃO ELETRÔNICA

5.1O porquê da injeção eletrônica

Todo o conhecimento do funcionamento das partes do motor diesel é importante, porém tão importante quanto suas partes mecânicas é sua forma de lidar com o óleo diesel, pois esse combustível que será usado exige muita cautela e precisão dados seu alto valor econômico e sua correta distribuição.

Nos navios mais modernos é utilizada a injeção eletrônica, pois ela consegue coordenar mais precisamente os tempos de injeção e a quantidade de combustível a ser injetado. As distribuições de óleo diesel feitas pela injeção eletrônica atuam diretamente na melhoria da eficiência da potência nos motores dos navios.

5.2Sistema Common Rail

O sistema de injeção diesel Common Rail é o mais utilizado e será sobre ele que falaremos um pouco mais detalhadamente.

Da mesma forma que os motores do ciclo Otto, que tiveram seus sistemas de alimentação por carburador substituídos pelo sistema de injeção eletrônica, os motores do ciclo diesel passam pelo mesmo processo, e não poderia ser diferente. A bomba injetora passou a dar lugar a sistemas de injeção eletrônica, tais como o Common Rail.

5.3Funcionamento do sistema de injeção eletrônica

Partindo do sistema de alimentação de combustível para motor diesel pela bomba injetora, observamos que a bomba desempenha praticamente todas as funções que determinam a quantidade de combustível e pressão necessária para a combustão, sendo que na maioria dos casos funciona de forma totalmente mecânica, fornecendo combustível ao motor através de bicos injetores, que também de forma estritamente mecânica, sob ação da pressão, abre a passagem de uma determinada quantidade de combustível no momento que o cilindro necessitar de "alimentação". Se analisarmos a forma que atua esse tipo de injeção (por meio de engrenagens acopladas) é fácil perceber que a injeção eletrônica tem uma vantagem sobre a mecânica, por ela pode transferir o combustível para cada cilindro em quantidade e tempo mais precisos.

Já no sistema Common Rail a configuração é outra. Os bicos injetores não estão ligados a uma bomba injetora através de um tubo para cada cilindro como no sistema mecânico, mas, sim, acoplados a um único tubo ou galeria de combustível, semelhante aos sistemas de injeção multiponto para ciclo Otto. O nome common rail parte desse modo de funcionamento.

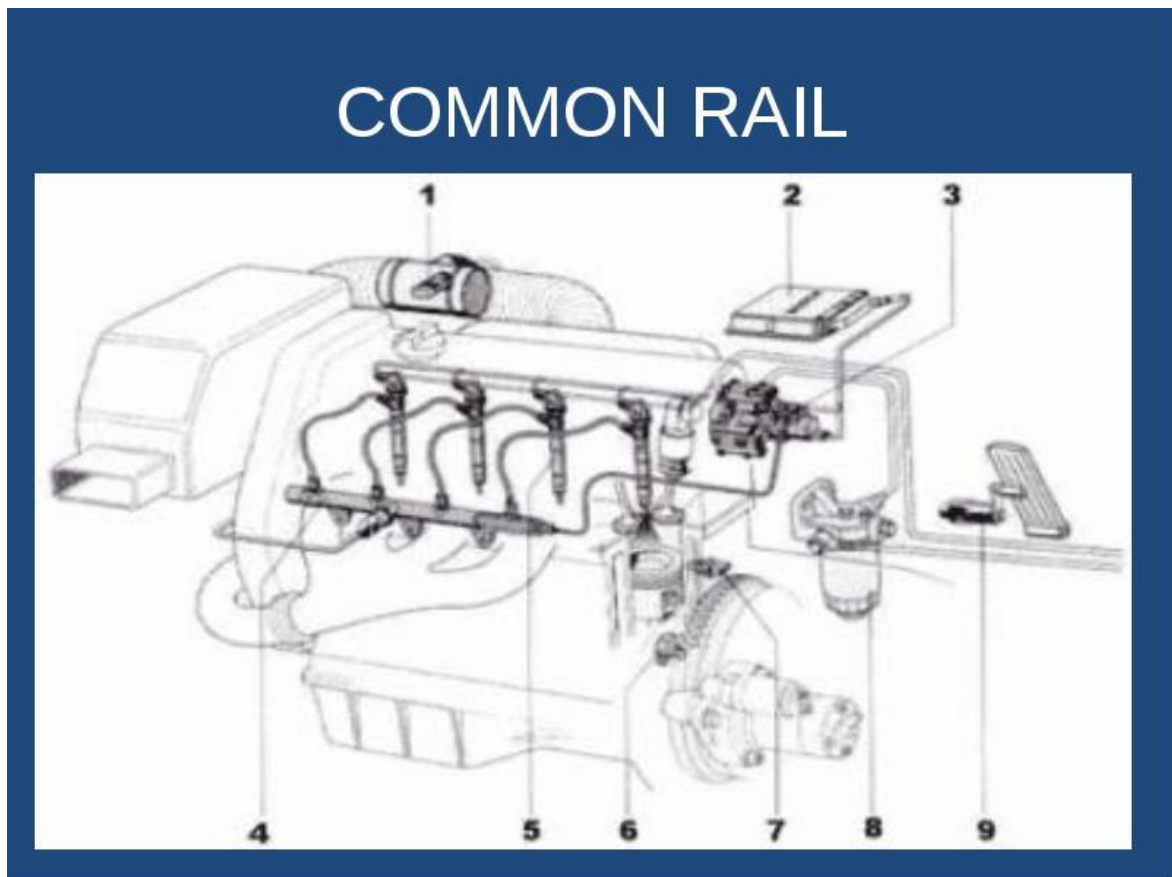
A alta pressão é gerada por uma bomba acoplada ao motor que fornece o combustível com a pressão necessária para o tubo e o injetor, que, apesar de abrir passagem ao combustível por pressão, isto só ocorre quando a unidade de comando assim determinar através de sinal elétrico. Desta forma, a pressão de injeção de combustível pode variar independentemente da rotação do motor e da própria quantidade de combustível a ser fornecida para o motor nos seus diversos regimes de trabalho.

Assim podemos dizer que tanto a pressão como a quantidade de combustível são determinadas de forma independente pela unidade de comando e, para estas determinações, a unidade recebe informações de diversos sensores, cada um com sua determinada função. Portanto, o motor trabalha no melhor de seu desempenho, com consumo otimizado e baixas emissões de poluentes. Além disso, a eletrônica possibilita uma enorme gama de funções que podem, entre outras, proteger o motor no caso de pane durante a operação, ou no caso de alguma falha no próprio sistema de injeção. Nesta situação ocorre um alerta no painel de instrumentos, indicado por uma lâmpada. A unidade de comando recebe diversas informações através dos sensores e, dependendo da necessidade aciona os atuadores, sendo os principais o regulador de pressão de combustível e o injetor, fazendo do sistema common rail o mais adequado para atender às exigências requeridas na aplicação de motores diesel.

5.4 Sensores e atuadores

Entre as informações, quando se pensa em sistema eletrônico de alimentação para um motor, precisamos partir de pontos básicos. Desta forma a unidade necessita de informações como a de rotação do motor (sensor de rotação), da massa de ar (medidor de massa de ar) no qual o motor está funcionando no momento, e, no caso do motor diesel onde a injeção é diretamente na câmara de combustão, esta unidade necessita saber o momento do ponto morto superior do cilindro 1, para acionar os bicos injetores de forma correta, em sequência (sensor de fase). Também se faz

necessário um sensor de pressão do combustível para o controle da pressão de combustível no tubo distribuidor, nos diversos regimes de trabalho do motor. Além disso, é importante conhecer a posição do acelerador do veículo durante a condução pelo motorista (sensor do pedal do acelerador). Existem ainda outros sensores que trazem as condições momentâneas para que haja uma adequação de maneira precisa na forma de trabalho dos atuadores.



Sensores e atuadores

Fonte: Google imagens

Principais partes do sistema common rail

- 1-Sensor de temperatura de gases de descarga
- 2-Unidade de Comando Eletrônico
- 3-Sensor de pressão da linha de combustível
- 4-Common Rail
- 5- Bico Injetor

6-Sensor de rotação

7-Sensor de fase (indica em que posição está o primeiro cilindro)

8-Sensor de temperatura e nível do óleo lubrificante

9-Sensor do pedal do acelerador

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao fim deste trabalho pudemos observar o quanto o senhor Rudolf Diesel foi importante para a história não só das máquinas marítimas como também para várias outras máquinas e vários veículos. Ele descreveu o ciclo desenhado por ele mesmo, e que leva o seu nome, para explicar como se dão as operações dentro dos pistões dos motores. Conhecemos partes importantes dos motores e como elas se correlacionam na geração de potência. Vimos que a MARPOL entra em ação para evitar danos ao ar gerados pelos motores e que a injeção eletrônica tem parte importante na evolução dos motores. Em suma, navios são muito importantes para o transporte de riquezas ao redor de todo mundo e devemos agradecer a locomoção destes navios principalmente a evolução dos motores que os propulsionam.

REFERÊNCIAS

- BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. 3 ed. São Paulo, 2012
- TAYLOR, Charles. **Análise dos motores de combustão interna**. 1 ed. São Paulo, 1971
- MARPOL 73/78. **Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios**. Entrada em vigor em 1983. Rio de Janeiro. DPC, 2012
- PRESS, Priory. **Rudolf Diesel and the Diesel engine**. 1974
- RACHE, Marco A.M. **Mecânica Diesel**. 2004
- TAYLOR, D.A. **Introduction to Marine Engineering**. 2000
- DOKKUM-VAN, Klaas. **Ship Knowledge**. Holanda, 2011
- CARVILL, James. **Mechanical Engineer's Data Handbook**. 2008
- MORTON, Jackson. **General Engineering Knowledge for Maritime Engineers**. 3 ed. 1991