

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**  
**(APMA.2/2016)**

**CHARLLES SANDRO ANTONIO VIOL**

**CONTROLE ELETRÔNICO PARA MOTORES DE DOIS TEMPOS**

**RIO DE JANEIRO**  
**2016**

**CHARLLES SANDRO ANTONIO VIOL**

**CONTROLE ELETRÔNICO PARA MOTORES DE DOIS TEMPOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: MSc. Eng<sup>o</sup>. Paulo Roberto Batista  
Pinto

**RIO DE JANEIRO**

**2016**

**CHARLLES SANDRO ANTONIO VIOL**

**CONTROLE ELETRÔNICO PARA MOTORES DE DOIS TEMPOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: MSc. Engº Paulo Roberto Batista Pinto.

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Dedico esse trabalho primeiramente aos meus pais que, com todo esforço, priorizaram a minha educação e me ensinaram valores primordiais como caráter, humildade e honestidade; e também a minha esposa, que sempre me apoia em meus projetos dando-me suporte a realizar nossos sonhos.

“Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso”.

(Albert Einstein)

## RESUMO

Este trabalho descreve a utilização dos motores marítimos de dois tempos controlados eletronicamente, ou seja, são motores que se diferenciam entre os demais motores convencionais principalmente por possuírem um controle autônomo de injeção de combustível e atuação da válvula de exaustão. São motores de última geração, o que possibilita um alto desempenho no que se relaciona com o consumo de combustível e grande redução de emissão de gases poluentes, como o  $\text{NO}_x$ , para que esteja de acordo com os limites estabelecido pelos acordos internacionais. Pelo controle eletrônico podemos atingir níveis ótimos de desempenho e leitura dinâmica das variáveis do motor em funcionamento, podendo assim, atuar com antecedência na solução de problemas e aumentando o intervalo entre as manutenções. O emprego dessa tecnologia já está em grande uso pelos maiores fabricantes na área marítima, em particular, pela MAN B&W que foi base de informação para apresentação desta pesquisa.

Palavra-chave: Motores dois tempos. Controle eletrônico. Injeção eletrônica. MAN B&W. Injeção eletrônica. Controle de emissão de gases.

## **ABSTRACT**

This work describes the use of marine engines of two-stroke electronically controlled, i.e. they are engines that are different from other conventional motors mainly because they have an autonomous control of fuel injection and operation of the exhaust valve. They are the latest generation of engines that enables a high performance as it relates to fuel consumption and greatly reduced emissions of polluting gases, such as NO<sub>x</sub>, in order to be in accordance with the limits set by international agreements. By electronic control, we can achieve optimal levels of performance, dynamic reading of engine variables in operation and can thus act in advance in solving problems and increasing maintenance intervals. The use of this technology is already in widespread use by major manufacturers in the maritime area, in particular by MAN B&W which was information basis for this research presentation.

Keyword: Engine two-stroke. Electronic control. Electronic injection. MAN B&W.  
Electronic injection. Gas emission control.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Eixo de Cames	11
<b>Figura 2</b>	Válvula de Exaustão	12
<b>Figura 3</b>	Janelas de admissão e exaustão	14
<b>Figura 4</b>	Processos de Combustão	16
<b>Figura 5</b>	Sulzer <i>Common Rail</i>	17
<b>Figura 6</b>	WECS	18
<b>Figura 7</b>	Bomba de combustível	18
<b>Figura 8</b>	Acumuladores	19
<b>Figura 9</b>	Exemplos para motor MAN B&W S70ME-C8.5-TII	22
<b>Figura 10</b>	Sensor de posição do eixo de manivelas (TACHO)	29
<b>Figura 11</b>	Esquema de Ligação	30
<b>Figura 12</b>	Placa Controladora (MPC)	31
<b>Figura 13</b>	Esquema do Sistema de Controle para Motores	31
<b>Figura 14</b>	Bombas Hidráulicas	32
<b>Figura 15</b>	Unidade de Cilindro Hidráulica	33
<b>Figura 16</b>	MOP ( <i>Main Operation Panel</i> )	35
<b>Figura 17</b>	Esquemático da Rede de Controle	36
<b>Figura 18</b>	Norma do Óleo de Cilindro	37
<b>Figura 19</b>	PMI <i>Software</i>	38
<b>Figura 20</b>	CoCoS-EDS <i>Software</i>	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACU	Auxiliary Control Unit
CCU	Cylinder Control Unit
CoCoS-EDS	Computer Controlled Surveillance – Engine Diagnostics System
ECS	Engine Control System
ECS	Engine Control System
ECU	Engine Control Unit
EICU	Engine Interface Control Unit
ELFI	Electronic valve Fuel Injection
ELVA	Electronic Valve Actuation
EMS	Engine Management Services
FIVA	Fuel Injection Valve Actuation
HCU	Hydraulic Cylinder Unit
HPS	Hydraulic Power Supply
LOP	Local Operation Panel
MOP	Main Operating Panel
MPC	Multi Purpose Controllers
PMI	Pressure Mean Indicated
SAV	Starting Air Valve
SCR	Selective Catalytic Reduction
SFOC	Specific Fuel Oil Consumption
SMCR	Specified Maximum Continuous Rating
UPS	Uninterrupted Power Supply
VIT	Variable Injection Time
WECS	Wartsila Engine Control System

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>PRINCIPAIS ELEMENTOS EM UM MOTOR DE DOIS TEMPOS</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Eixo de Cames</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Válvula de Exaustão</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>Regulador de velocidade</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Processo de combustão interna no motor de dois tempos</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>EVOLUÇÃO DOS MOTORES COMPUTADORIZADOS</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>ÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO<sub>x</sub>)</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Limite de emissões de gases - Classe II</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>Nova geração de motores diesel</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>CONCEITOS E FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE CONTROLE ELETRÔNICO</b>	<b>25</b>
<b>6.1</b>	<b>Consumo Específico de Óleo Combustível (SFOC)</b>	<b>27</b>
<b>6.2</b>	<b>Reversão do Motor</b>	<b>27</b>
<b>6.3</b>	<b>Vantagens que podemos obter deste sistema</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>PRINCIPAIS DISPOSITIVOS DO MOTOR DE CONTROLE ELETRÔNICO</b>	<b>29</b>
<b>7.1</b>	<b>Sistema TACHO</b>	<b>29</b>
<b>7.2</b>	<b>Sistema de Controle do Motor Principal</b>	<b>30</b>
<b>7.3</b>	<b>Unidade Hidráulica de Potência (HPS)</b>	<b>32</b>
<b>7.4</b>	<b>Unidade de Controle Auxiliar (ACU)</b>	<b>33</b>
<b>7.5</b>	<b>Unidade de Cilindro Hidráulica (HCU)</b>	<b>33</b>
<b>7.6</b>	<b>Unidade Controladora do Motor (ECU)</b>	<b>34</b>
<b>7.7</b>	<b>Unidade Controladora do Cilindro (CCU)</b>	<b>34</b>
<b>7.8</b>	<b>Unidade de Interface de Controle do Motor (EICU)</b>	<b>35</b>
<b>7.9</b>	<b>Painel de Operações Principal (MOP)</b>	<b>35</b>
<b>7.10</b>	<b>Rede de Controle</b>	<b>36</b>
<b>7.11</b>	<b>Fonte de Energia para o Sistema de Controle do Motor</b>	<b>36</b>
<b>7.12</b>	<b>Lubrificadores de Cilindro</b>	<b>37</b>
<b>7.13</b>	<b>Gerenciamento de Dados (EMS)</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Recentemente, os preços do óleo combustível subiram para níveis sem precedentes, trazendo em foco o consumo de combustível mais do que em outros tempos. Ao mesmo tempo, as emissões de gases emitidos para atmosfera em geral e em particular o CO<sub>2</sub> são as principais prioridades contra o efeito estufa.

Uma maneira de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo de combustíveis é reduzir a velocidade do navio. Isto significa que o navio deve operar em baixa carga do motor principal por longo período, também haverá um aumento na duração da viagem, por exemplo, uma viagem de oito semanas poderia durar nove semanas. Duas questões muito importantes devem ser consideradas com a redução da velocidade: a capacidade do motor em operar em baixa carga por longo período de tempo e o consumo de óleo combustível em baixa carga.

Até certo tempo, os armadores deveriam decidir se a embarcação deveria ser preparada para navegar em altas velocidades ou um projeto para reduzir a velocidade da mesma, ou seja, a escolha de um motor principal menor ou ainda uma terceira opção: manter o tamanho maior do motor, mas adequá-lo para baixa carga. Os armadores escolheram em manter a flexibilidade no serviço através da manutenção de alta velocidade do navio.

Os motores controlados eletronicamente tem uma maior vantagem com respeito a operar com muito pouca carga por longo período de tempo, enquanto oferecem uma substancial redução no consumo de combustível comparado com motores convencionais.

Em conexão com o consumo de óleo combustível, as novas legislações de emissões de gases, forçaram a construção de novos motores para que fossem cumpridas: a Classe II (ver adiante: Óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) da Convenção MARPOL 73/78, Anexo VI – Regra 13, por exemplo, implica numa redução de NO<sub>x</sub> de 17 g/kWh para 14.5 g/kWh, entre outros gases emitidos. Esta redução de NO<sub>x</sub> só pode ser alcançada com o ajuste fino possível pelo motor de controle eletrônico.

Analisaremos o motor de dois tempos com controle eletrônico em suas particularidades, e em especial as tecnologias desenvolvidas pelo fabricante de motores MAN B&W.

## 2 PRINCIPAIS ELEMENTOS EM UM MOTOR DE DOIS TEMPOS

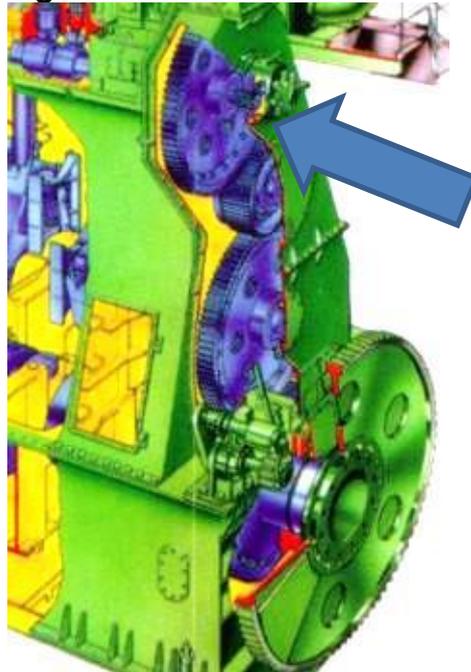
Alguns elementos do motor convencional são explicados a seguir, com a finalidade de entendermos e compararmos, (baseado nos seus princípios de funcionamento), com o motor de controle eletrônico de injeção e de abertura de válvulas.

### 2.1 Eixo de Cames

O eixo de cames é um componente responsável pela abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape, e está diretamente relacionado ao desempenho de um motor ciclo Otto ou ciclo Diesel. Ele contém os cames, dos quais atuam a bomba de combustível e válvulas de exaustão. Devido a operar uma vez a cada ciclo de trabalho, o eixo de cames no motor de dois tempos gira na mesma velocidade que o eixo de manivelas.

É muito importante que a bomba de combustível e válvula de exaustão operem no tempo exato de combustão, portanto, o eixo de cames é governado pelo eixo de manivelas. Há também dois métodos de transmissão do movimento entre estes dois eixos: por engrenagens ou por corrente.

**Figura 1** Eixo de Cames

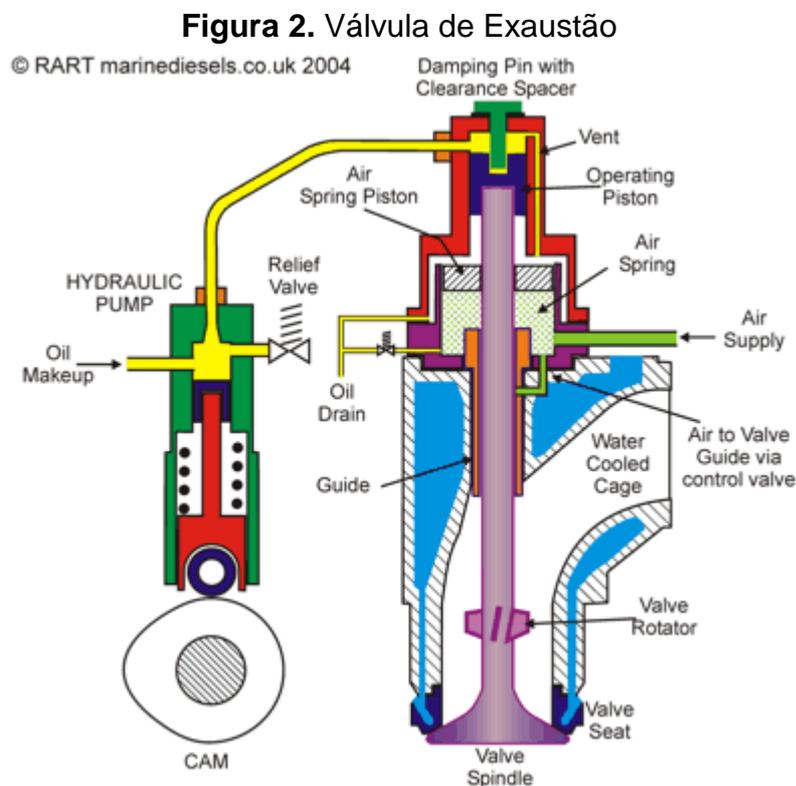


Fonte: [www.marinediesels.info](http://www.marinediesels.info)

## 2.2 Válvula de Exaustão

Válvulas de exaustão (escape) abrem para dentro do cilindro, de modo que a pressão do gás no cilindro garante um fechamento positivo e ajuda a expulsar qualquer depósito de carvão no acento da válvula.

Nos motores de dois tempos, a abertura e o fechamento desta válvula são controladas pelo eixo de cames montado sobre o eixo de manivelas. Normalmente, o came seguidor movimenta para cima uma vareta, a qual atua num balancim e abre a válvula de exaustão. Tal sistema apresenta certas desvantagens: os acionamentos da vareta, balancim e haste da válvula representam carga extra para o motor; o movimento circular na extremidade do balancim acionando a haste da válvula tende a provocar maior atrito da haste ao seu guia, gerando desgastes em ambos; desgastes excessivos na guia da válvula de descarga acarretam no escape de gases da exaustão pela haste da válvula, o que resulta em sobreaquecimento e acelera o processo de desgaste; também as molas responsáveis por manter as válvulas de exaustão fechadas possuem um período de vida útil e estão sujeitas a quebras.



Fonte: [www.marinediesels.info](http://www.marinediesels.info)

## 2.3 Regulador de Velocidade

A rotação de trabalho do motor de combustão interna de dois tempos depende da quantidade de óleo combustível injetada. A potência requerida pelo motor pode variar continuamente devido à flutuação da carga, então alguns meios devem prover o controle da quantidade de óleo combustível requerida para manter uma rotação constante do motor durante estas variações na carga.

Faz-se necessário limitar a rotação máxima de trabalho do motor, onde esta velocidade não deve induzir esforços que superem os limites de resistência dos materiais, pois a partir de determinados valores de rotação do motor, há a ocorrência de efeitos indesejáveis, como trepidações excessivas que podem quebrar os mancais ou superaquecimento.

Uma vez que a quantidade de óleo combustível injetada é dosada pela bomba injetora de acordo com a variação de carga do motor, limita-se a quantidade máxima de combustível que pode ser injetada, empregando-se um dispositivo denominado governador (*governor*) ou regulador de velocidade, onde o mais comumente empregado é constituído por um conjunto de contrapesos girantes (bailarina), que por ação da força centrífuga atua no mecanismo de injeção de óleo combustível das bombas injetoras, de modo a permitir o suprimento de combustível sem variações bruscas e respondendo de forma suave às solicitações da carga.

Há reguladores de rotação constante ou reguladores a rotação variável. Os reguladores a rotação constante são responsáveis por manter o motor em uma mesma rotação, já os reguladores a rotação variável são responsáveis por manter a rotação desejada, de acordo com o ajuste. Dependendo de como o regulador de velocidade atua, há basicamente três tipos de reguladores: os reguladores mecânicos, os hidráulicos e eletrônicos.

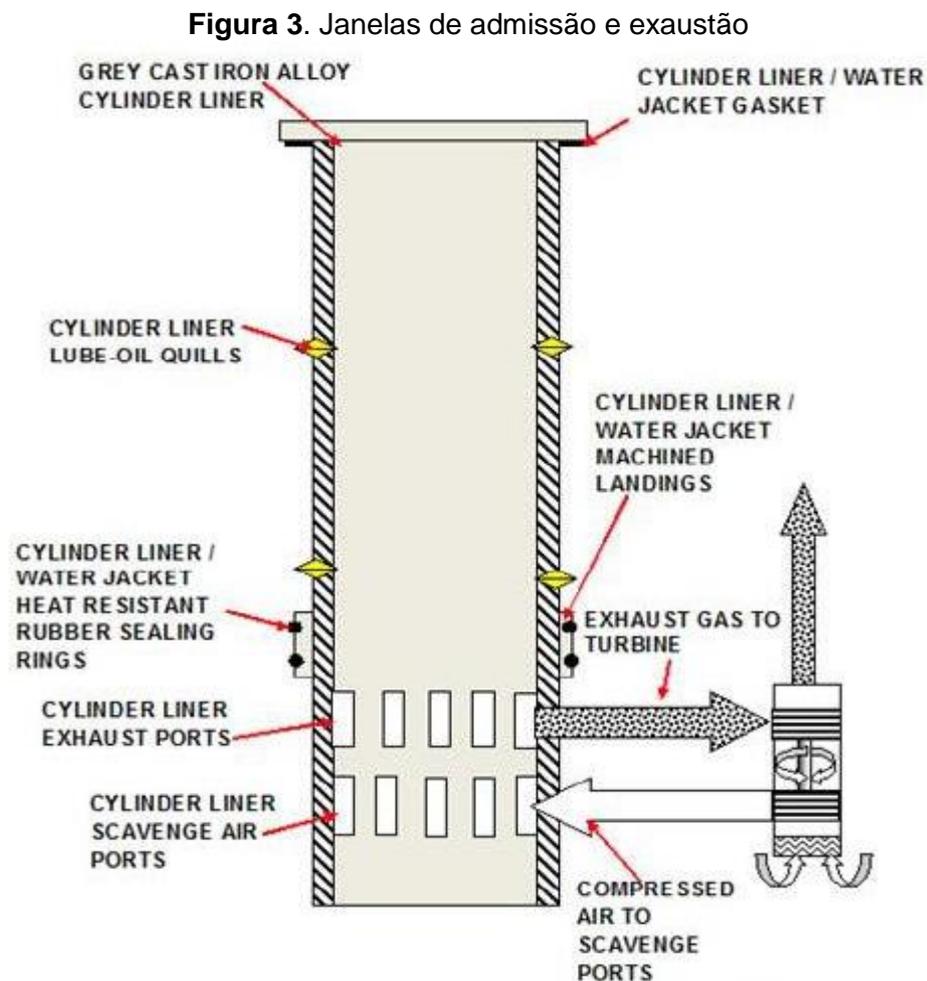
Mais adiante, veremos que no motor de controle eletrônico, tais reguladores são substituídos pelos processos determinados pelo Sistema de Controle do Motor Principal.

## 2.4 Processo de combustão interna do motor de dois tempos

Os motores de combustão interna de dois tempos realizam o ciclo operativo em duas fases, necessitando apenas de uma volta do eixo de manivelas. Com um curso de subida e outro de descida do êmbolo, o eixo de manivelas terá executado apenas uma volta, ou seja, trezentos e sessenta graus, completando o ciclo, ao passo que o motor de quatro tempos necessita de duas voltas do eixo para completar seu ciclo.

O primeiro tempo é composto pelos processos de admissão e compressão e no segundo tempo realizam-se os processos de combustão ou expansão e exaustão ou descarga.

O motor de dois tempos não possui válvulas, portanto, a admissão da massa gasosa e a exaustão dos produtos da combustão se processam através de aberturas dispostas nas paredes laterais do cilindro, denominadas janelas de admissão e janelas de exaustão.



No primeiro tempo, admissão e compressão, o êmbolo encontra-se no ponto morto inferior, iniciando seu curso de subida. Concomitantemente, as janelas de admissão e de exaustão estão simultaneamente abertas. Então, a mistura gasosa é admitida no interior do cilindro pelas janelas de admissão e é descarregada pelas janelas de exaustão, sendo este período corresponde à lavagem do cilindro, conforme Figura 4(a).

O próximo passo do ciclo dois tempos, caracterizado pela sequência em que o êmbolo, ao subir em direção ao ponto morto superior, cobre primeiro as janelas de admissão que são mais baixas, fechando assim a entrada da massa gasosa para o interior do cilindro. Porém, devido às janelas de exaustão ainda estarem abertas, a massa gasosa continua saindo, não havendo nesse momento compressão. Ver figura 4(b).

O pistão permanece em curso de subida, de modo a cobrir também as janelas de exaustão onde se inicia a compressão da mistura gasosa até que o pistão atinja o ponto morto superior. É necessária uma compressão suficiente para que ocorra a autoignição do combustível.

Para esta fase, completa-se o primeiro tempo do motor, que durante este curso de subida do êmbolo, o eixo de manivelas terá executado meia volta, ou seja,  $180^\circ$ , esboçado na figura 4(c). Inicia-se então, o segundo tempo do motor, que compreende a combustão e expansão e também, a descarga e exaustão.

Após o êmbolo ter atingido o ponto morto superior, a mistura gasosa comprimida encontra-se a determinada pressão, volume e temperatura de ignição, de forma a estar apta para entrar em combustão. No ciclo Diesel, o combustível será injetado na câmara de combustão e a ignição ocorrerá devido à elevada temperatura do ar comprimido no interior da câmara de combustão.

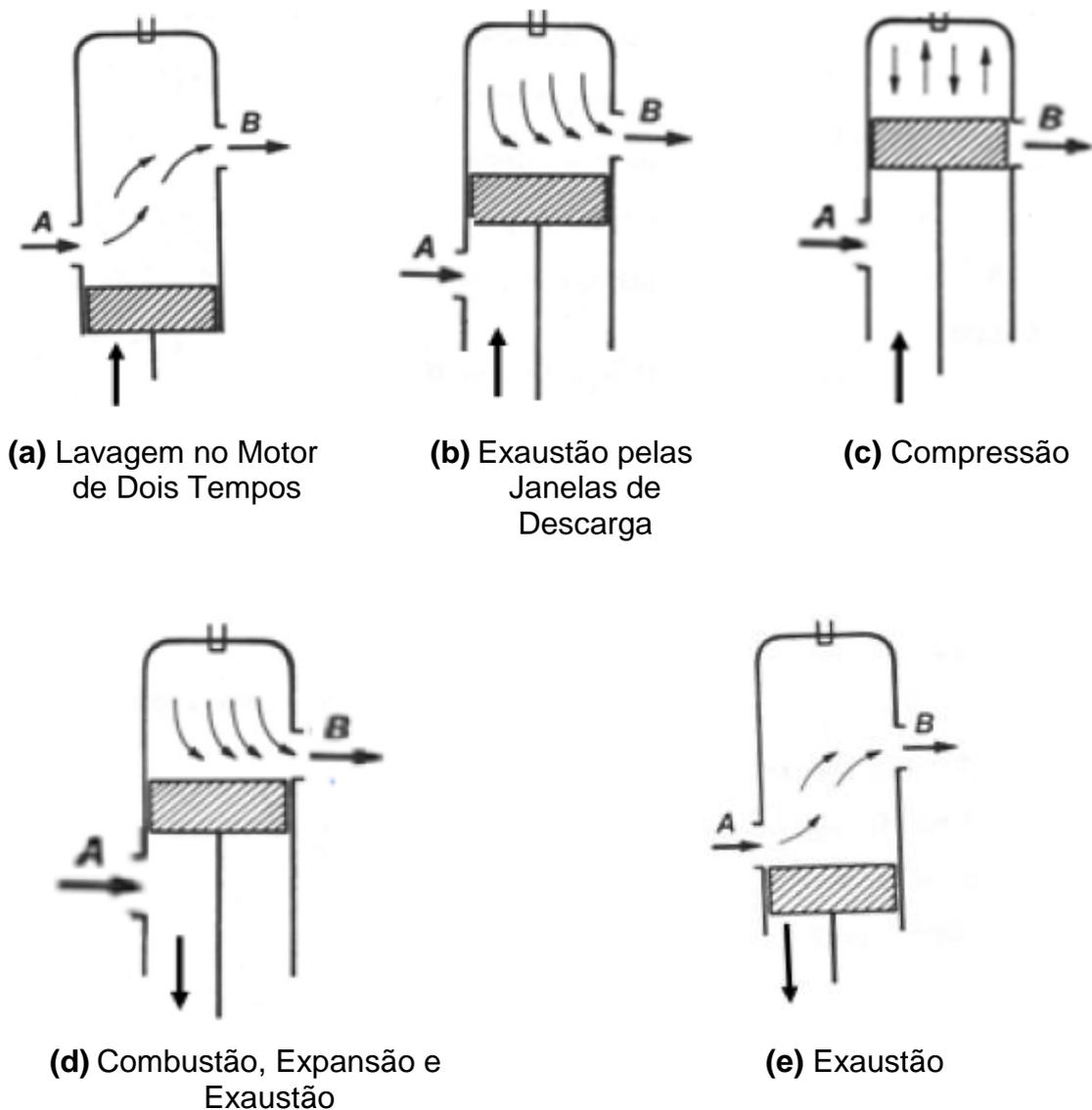
Assim, a combustão provoca o aumento da pressão da massa gasosa, expandindo-se e empurrando violentamente o êmbolo para baixo em direção ao seu ponto morto inferior, o denominado tempo motriz, onde ocorre o deslocamento provocado pela expansão que produz a energia mecânica destinada a girar o eixo de manivelas, conforme exposto na figura 4(d)

Uma vez em seu curso de descida, o êmbolo estará descobrindo primeiramente as janelas de exaustão, fazendo com que os gases provenientes da queima sigam em direção aos dutos de descarga do motor, caracterizando então, a exaustão. Figura 4(e).

Com o segundo tempo do motor, o êmbolo ao deslocar-se para o ponto morto inferior, descobrirá as janelas de admissão, em que haverá admissão de uma nova massa gasosa, onde o processo todo se repetirá, conforme descrito anteriormente.

Durante o curso de descida do êmbolo em direção ao ponto morto inferior, ocasionado pela força de expansão dos gases, o eixo de manivelas estará executando mais meia-volta, completando, portanto, um giro completo de  $360^\circ$  e encerrando o ciclo de dois tempos.

**Figura 4.** Processos de Combustão



Fonte: MARINHA DO BRASIL. Máquinas de Combustão Interna.

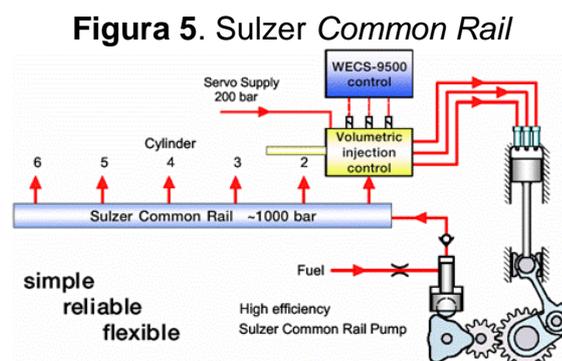
### 3 EVOLUÇÃO DOS MOTORES COMPUTADORIZADOS

Não é do conhecimento geral que o primeiro sistema de injeção de ar (isto é, não utilizar ar comprimido para atomizar o combustível) era um sistema em linha comum (*common rail*). A invenção deste sistema é muitas vezes erroneamente creditada a *Doxford*, mas ele foi inventado e patenteado pela *Vickers of Barrow* em *Furness* e usado primeiramente nos submarinos classe G em 1916.

Neste sistema de linha comum as bombas de combustível pressurizam uma linha a aproximadamente 40 MPa, da qual uma rede leva até a válvula injetora operada pelo eixo de cames e balancim. Mais tarde os sistemas usados eram de injetores operados hidráulicamente, onde a entrega de combustível era controlada por uma válvula operada pelo cames.

Com a integração da eletrônica industrial em sistema de engenharia naval, juntamente com os passos largos da tecnologia da informática, foi possível novamente introduzir a injeção de combustível *common rail* com outros sistemas, utilizando esta tecnologia moderna para controlar o tempo de injeção de combustível sem ajuda mecânica. Em acréscimo a esta tecnologia, foi possível dispensar todo eixo de cames utilizando sistemas similares para controlar operações de válvulas e sistema de ar de partida.

Os dois maiores fabricantes de motores de dois tempos com cruzeta tem introduzido motores sem eixo de cames: a Sulzer chama estes motores de RT Flex, e MAN B&W de ME - motores inteligentes. Ambos utilizam bombas axiais de pistão e conduzidas por corrente para pressurizar uma linha de combustível de 20 MPa que são então utilizadas para as operações com a injeção de combustível e a válvula de exaustão. Nos motores MAN B&W também são utilizados bombas de lubrificação de cilindro ativadas pela pressão hidráulica do sistema.

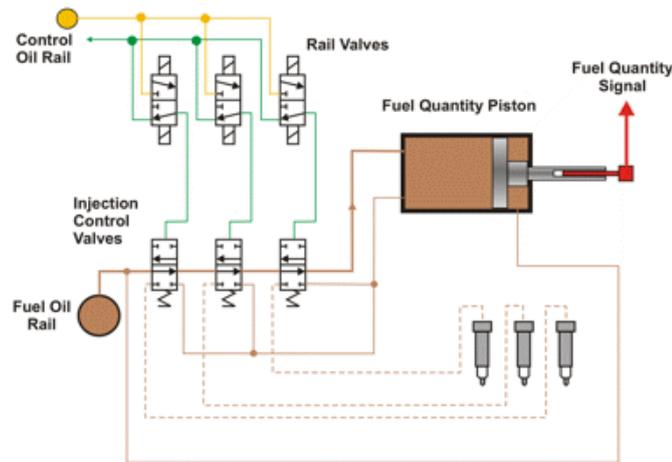


Fonte: [www.marinediesels.info](http://www.marinediesels.info)

A *Sulzer* utiliza uma linha de combustível pressurizada por bombas guiadas por três lóbulos pelo virabrequim, sendo essas bombas de débito variável.

O sistema de computador conhecido como Sistema de Controle *Wartsila* (WECS), controla a entrega de combustível da linha até os cilindros individualmente através do sistema de controle de injeção volumétrica que utiliza óleo lubrificante finamente filtrado e pressurizado por uma bomba de 20 MPa.

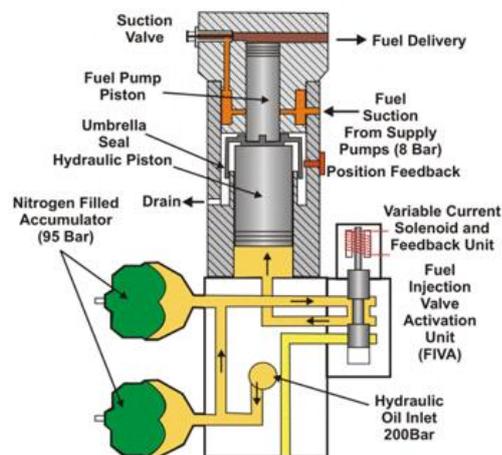
**Figura 4. WECS**



Fonte: [www.marinediesels.info](http://www.marinediesels.info)

Quando as válvulas da linha são energizadas para injeção pelo Módulo, óleo da linha de combustível abre as válvulas de controle de injeção, os injetores de combustível são pressurizados e o óleo combustível pressurizado mantém esta pressão nos injetores. À medida que o pistão se move para a esquerda, um sinal de retorno é enviado ao módulo de controle de cilindro. A uma baixa carga no motor, o sistema de controle corta uma das três válvulas injetoras por cilindro.

**Figura 5: Bomba de combustível**

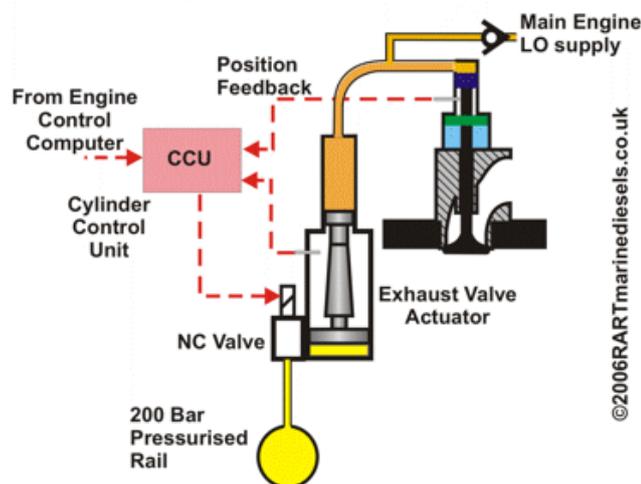


Fonte: [www.marinediesels.info](http://www.marinediesels.info)

Ao contrário do motor Sulzer RT Flex o motor MAN B&W não opera a injeção de combustível em um sistema *common rail*, em vez disso uma válvula proporcional (FIVA) admite o óleo pressurizado sob um pistão hidráulico. Este moverá a bomba de combustível para cima elevando a pressão de combustível e abrindo as válvulas injetoras. Acumuladores cheios de nitrogênio mantêm o óleo hidráulico pressurizado durante as operações de bombeamento.

Para ser capaz de injetar no tempo correto, o Sistema de Controle deve saber o ângulo de manivela das unidades individuais e para isso, dois sensores de manivela são montados na extremidade livre do motor. Estes sensores são precisos e calibrados para 0,1°. Pressões dos cilindros e potência são monitoradas continuamente utilizando sensores nos cabeçotes, e o computador automaticamente compensa a volta do eixo de manivela quando relaciona a posição do eixo com a pressão no cilindro. O sistema oferece total flexibilidade entre o início e fim da injeção e leva em consideração a qualidade do combustível, tempo morto (o tempo entre a injeção de combustível dada e a injeção atual) e o tempo de injeção variável. (VIT).

**Figura 8:** Acumuladores



Fonte: [www.marinediesels.info](http://www.marinediesels.info)

O sistema de arranque por ar comprimido é semelhante ao motor convencional, exceto que não há necessidade de um distribuidor acionado mecanicamente para abrir as válvulas de ar de partida no momento correto. Em vez de um eixo de cames que impulsiona o distribuidor de ar de partida reversa, cada válvula de ar é aberta no momento correto pelo computador que envia um sinal para a válvula solenoide normalmente fechada.

O tempo de cada válvula de ar de partida irá variar dependendo do número de cilindros, mas elas abrirão por um tempo suficiente para permitir sobreposição, de modo que uma válvula abre antes da anterior fechar, permitindo o arranque em qualquer posição de repouso. A abertura nominal pode ser considerada  $0^\circ$  (isto é TMS: Tempo Morto Superior) e fechando a  $110^\circ$  (TMI: Tempo Morto Inferior). O computador sabe quando enviar o sinal porque está recebendo a informação sobre a posição do virabrequim dos sensores de ângulo que medem a posição do virabrequim e RPM, e quando o motor atingir a velocidade de disparo, o computador fechará o ar e introduzirá combustível.

## 4 ÓXIDO DE NITROGÊNIO (NO<sub>x</sub>)

De acordo com as regras da IMO<sup>1</sup>, os requisitos do Anexo VI da MARPOL 73/78 – Regra 13 de controle de emissão de NO<sub>x</sub> se aplicam a motores diesel marítimo com potência de mais de 130KW de potência de saída, independente da tonelagem do navio sobre o qual estes motores estão instalados. Níveis diferentes de controle são aplicados com base na data de construção do navio e o valor limite real é determinado a partir da velocidade nominal do motor:

Classe	Data de construção do navio é posterior a	Limite de emissão total por ciclo (g/kWh) n = velocidade nominal do motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 Janeiro 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ ex., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 Janeiro 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ ex., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 Janeiro 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ ex., 720 rpm – 2.4	2.0

A determinação da classe é especificada pelo tipo de navio e também pela área de atuação (navegação) da embarcação.

Para que os motores atendessem as normas de emissão de NO<sub>x</sub>, novas tecnologias são empregadas e o controle eletrônico do motor principal é uma maneira de se adequar a estas normas, proporcionando melhores ajustes que o motor convencional, aumentando o desempenho e diminuindo as emissões de gases nocivos para a atmosfera.

### 4.1 Limite de emissões de gases - Classe II

Os regulamentos de NO<sub>x</sub> colocaram um limite no SFOC (ver adiante – Consumo Específico de Óleo Combustível) dos motores de dois tempos. Em geral,

---

<sup>1</sup>IMO (*International Maritime Organization*) - é a agência especializada das Nações Unidas com a responsabilidade pela proteção e segurança da navegação e a prevenção da poluição marinha por navios, onde vários países (inclusive o Brasil) são signatários e devem cumprir suas normas.

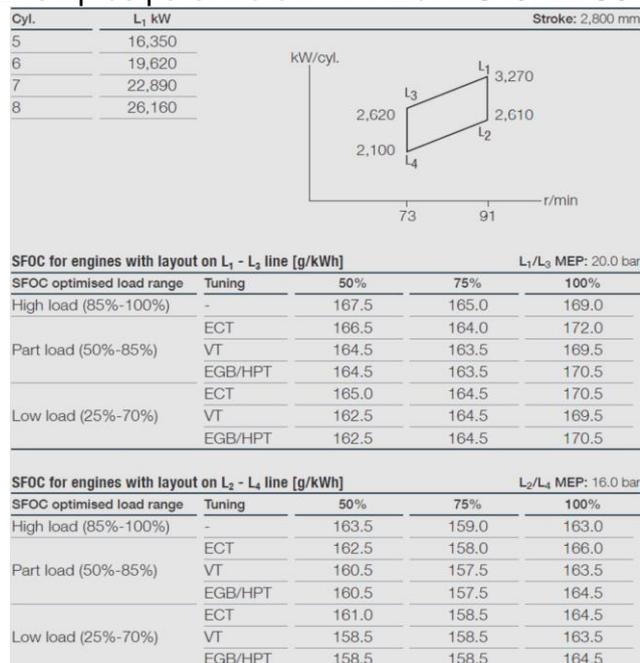
as emissões de  $\text{NO}_x$  aumentarão se o SFOC diminuir e vice-versa. Na configuração padrão, os motores MAN B&W são otimizados perto do limite de  $\text{NO}_x$  definidos pela IMO e por conseguinte, as emissões  $\text{NO}_x$  não podem ser aumentadas ainda mais.

Os limites da IMO para as emissões de  $\text{NO}_x$ , é dado como uma média ponderada das medições de  $\text{NO}_x$  em 25, 50, 75 e 100% de carga. Esta relação pode ser utilizada para inclinar o SFOC de perfil sobre a faixa de carga. Isto significa que ele pode ser reduzido em carga parcial ou baixa carga nas custas de um alto SFOC em faixa de carga maior sem exceder o limite da IMO. A otimização do SFOC na carga parcial (50-85%) ou de baixa carga (25-70%) requer uma seleção de métodos para ajustar o motor:

- ECT: (*Engine Control Tuning*) Controle de Ajuste do Motor;
- VT: (*Variable Turbine Area*) Área Variável do Turbocompressor;
- EGB: (*Exhaust Gas Bypass*) Sobreposição Gases de Escape;
- HPT: (*High Pressure Tuning*) Ajustamento de Alta Pressão.

Cada método de ajuste faz com que seja possível aprimorar o consumo de combustível, quando normalmente operando a cargas baixas, mantendo ao mesmo tempo a possibilidade de operar a cargas elevadas quando necessário. Os métodos de ajuste estão disponíveis para todos níveis de funcionamento (SMCR) no diagrama específico do motor, mas eles não podem ser combinados.

**Figura 9:** Exemplos para motor MAN B&W S70ME-C8.5-TII



Fonte: [www.mandieselturbo.com](http://www.mandieselturbo.com)

## 5. OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

A exigência mais pertinente dos operadores de navios é obter os mais baixos custos operacionais e especialmente o menor consumo de óleo combustível possível, a qualquer carga, e sob as condições de funcionamento predominantes. No entanto, a baixa rotação dos motores convencionais com eixo de comando acionado por corrente tem flexibilidade limitada em relação à injeção de combustível e a ativação da válvula de escape, que são os dois fatores mais importantes para ajustar o motor para as condições de funcionamento existente.

Um sistema de ativação hidráulica controlada eletronicamente fornece a flexibilidade necessária, já que tal sistema configura o núcleo do sistema de controle para os motores com controle eletrônico.

### 5.1 Nova geração de motores diesel

A introdução dos motores controlados eletronicamente sem eixo de cames está ganhando ímpeto na tecnologia e merece um lugar na história, assim como o motor marítimo do *Selandia* (1912) de *Rudolf Diesel* em *Augsburg*; a introdução do turbo compressor nos motores de dois tempos diesel em 1954, e o primeiro sistema de redução de  $\text{NO}_x$  (SCR) nos navios em 1989. Cames mecânicos tem sido muito empregado e apesar de vários adicionais mecânicos e hidráulicos como VIT, os ajustes de tempo continuam muito limitados com esses cames, limitando também pontos importantes como o controle de pressão de combustível e a faixa de carga de trabalho. Portanto, o principal propósito dos motores controlados é garantir o tempo correto e proporção de combustível assim como a abertura de válvula de descarga.

O controle eletrônico da injeção de combustível e válvula de exaustão melhoram as operações em baixa carga, aceleração e balanceamento, gerando maior tempo entre as manutenções, o qual também é implementado por um sistema de diagnóstico mais avançado; tudo isso dará um baixo consumo de combustível e também melhores característica de emissão, em particular, com relação à fumaça visível e  $\text{NO}_x$ .

Um dos principais benefícios desses motores é a capacidade de operar em diferentes modos, a critério do operador. Atualmente, quatro modos diferentes podem ser incorporados no programa do motor, e cada modo individual pode, em princípio, ser projetado para atender às necessidades específicas do armador sem

qualquer limitações do modo de funcionamento, desde que cada modo cumpra com os requisitos da IMO definido para emissões de  $\text{NO}_x$ . A MAN Diesel, por exemplo, instituiu como padrão os modos de economia de combustível e de emissão de particulados.

Tradicionalmente, motores convencionais requerem um aumento da carga (quando se opera com cargas menores que 20%) de 1 hora a cada 12 horas com carga de 75%, o que equivale a 14 horas a cada semana. Com motores de controle eletrônico, a exigência do aumento de carga é reduzida para apenas 2 horas por semana a 75% de carga. Esta simplificação, em intercâmbio com prolongadas e até mesmo indefinidas operações em baixa carga pode em seus próprios meios trazer uma economia no consumo de combustíveis de até 10% dos custos totais de combustível.

Os motores de controle eletrônico são previamente equipados com válvulas de combustível gradual como padrão, onde a pressão de injeção é independente da carga do motor e cria uma injeção mais adequada em todos os níveis de carga, conseqüentemente, torna outra característica muito comum nos motores controlados mecanicamente, a interrupção do cilindro, menos relevante como proteção para assegurar as condições de funcionamento estáveis em caso de carga muito baixa. Motores de controle eletrônico são normalmente construídos no modo econômico, assegurando o SFOC ideal para uma carga normal, e esse modo econômico cumpre os requisitos com respeito aos limites de emissão de  $\text{NO}_x$  pela IMO, com o motor sendo plenamente capaz de operar continuamente por longos períodos em carga parcial e baixa carga sem quaisquer ajustes especial no motor.

No modo de emissão, os valores cíclicos das emissões de  $\text{NO}_x$  são reduzidos por 10% a 25% através de ajustes especiais dos parâmetros, principalmente à alta carga (75% e 100%). Neste modo, o motor também é capaz de operar continuamente por longos períodos em meia carga e baixa carga, sem ajustar parâmetros.

## 6. CONCEITOS E FUNCIONAMENTO DO MOTOR DE CONTROLE ELETRÔNICO

Tais motores consistem em um sistema hidráulico-mecânico para ativação de injeção eletrônica de combustíveis e válvulas de exaustão, pois não possuem eixo de cames para exercer tais funções. Os atuadores são eletronicamente controlados por um número de unidades de controle que formam o Sistema de Controle do Motor, com os programas de controle bem como os computadores e dispositivos são desenvolvidos de forma integrada.

A bomba de combustível consiste em um simples êmbolo pressurizado por um pistão acionado por pressão de óleo, controlada por uma válvula proporcional atuada eletronicamente. A válvula de exaustão é aberta hidráulicamente por intermédio de uma segunda válvula atuadora em dois estágios ativada eletronicamente pelo controle de óleo da válvula proporcional e é fechada pelo colchão de ar.

No sistema hidráulico é utilizado o óleo de uso normal do motor, ele é filtrado e pressurizado pela Unidade de Suprimento acoplada no próprio motor ou instalada separadamente na praça de máquinas.

As válvulas de partida são abertas pneumaticamente por um controlador eletrônico de válvulas "liga/desliga", pelas quais é possível dispensar o distribuidor de ar mecanicamente ativado. Estas válvulas de partida são controladas eletronicamente de acordo com a leitura instantânea da posição do eixo de manivelas e tornando possível então o completo controle do processo de injeção de combustível e abertura da válvula de exaustão.

A flexibilidade do sistema é obtida pelos diferentes modos de trabalho que podem ser selecionado automaticamente, dependendo das condições de operação, ou manualmente pelo operador que deseja atingir objetivos específicos. O modo normal de operação é o modo de Economia de Combustível, o qual concorda com as limitações de emissões de  $\text{NO}_x$  determinadas pela IMO.

A diferença entre um motor convencional e os motores controlados eletronicamente é um número de partes mecânicas redundantes que podem ser substituídas por partes hidráulicas e partes mecatrônicas com funções avançadas. As principais partes omitidas são:

- Corrente de transmissão;
- Eixo de cames;

- Roletes guias para bomba de combustível e válvula de exaustão;
- Regulador de velocidades;
- Distribuidor de ar de partida;
- Lubrificador de cilindro mecânico;
- Console de controle local.

Tais partes são substituídas por:

- Bombas hidráulicas (HPS);
- Unidades de cilindro hidráulicas (HCU);
- Sistema de Controle (ECS), para:
  - Atuador de válvula de exaustão;
  - Pressurizador de óleo combustível;
  - Sequências de partida e reversão;
  - Funções de regulação de velocidade;
  - Válvulas de ar de partida;
  - Sopradores auxiliares.
- Sistema de posição do eixo de manivelas;
- Lubrificadores de cilindro por controle eletrônico;
- Painel de Operações Local (LOP);
- Filtros de óleo de 10 e 25 *microns*;
- Bombas de partida:
  - Bombas hidráulicas de suprimento de 17,5 MPa;
  - Bombas de baixa pressão para suprimento da válvula de exaustão de 0,4 MPa.
- Bombas de pistão (atuadores) para suprimento óleo hidráulico para Unidade de Cilindro Hidráulico com pressões de 25 MPa.

Devemos citar também uma importante válvula eletrônica de controle ELFI (válvula de injeção de combustível de controle eletrônico proporcional) ou ELVA (válvula de liga/desliga para atuador da válvula de exaustão), ambas já substituídas em uma única válvula FIVA (Ativação da válvula de injeção de combustível).

## 6.1 Consumo Específico de Óleo Combustível (SFOC)

Quando o motor e a turbina em seu funcionamento estão equalizados de maneira a obter os melhores índices possíveis para o SFOC, então este motor está em acordo com as limitações de emissões de NO<sub>x</sub>. Os valores do SFOC são dados em g/kWh com uma tolerância de 5% a 100% SMCR<sup>2</sup> e é baseado no uso de combustível com um valor calorífico baixo de 42.700 kJ/kg (aproximadamente 10.200 kcal/kg) com às seguintes condições:

- Pressão ambiente do ar ..... 0,1 MPa;
- Temperatura do ar ambiente.....25°C;
- Temperatura da água de arrefecimento.....25°C.

Embora o motor desenvolva a potência específica em condições ambiente tropical, o consumo específico de combustível (SFOC) varia com as condições ambientes e o baixo valor calorífico do mesmo.

## 6.2 Reversão do Motor

A inversão do motor é realizada eletronicamente e controlada pelo Sistema de Controle do Motor, mudando o momento da injeção de combustível, a ativação da válvula de escape e as válvulas de partida.

## 6.3 Vantagens que podemos obter deste sistema

- Otimiza o consumo de combustível;
- Motor é ajustado automaticamente em resposta à troca do tipo de combustível;
- Ajuda a evitar sobrecargas mecânicas e térmicas;
- Melhora a eficiência do motor;
- Diminui custos de manutenções e aumenta a confiança;
- Reduz emissões de CO<sub>2</sub>;

---

<sup>2</sup> SMCR – *Specified Maximum Continuous Rating* – compreendido como a entrada de energia mais alta permitida a fluir através de um equipamento específico.

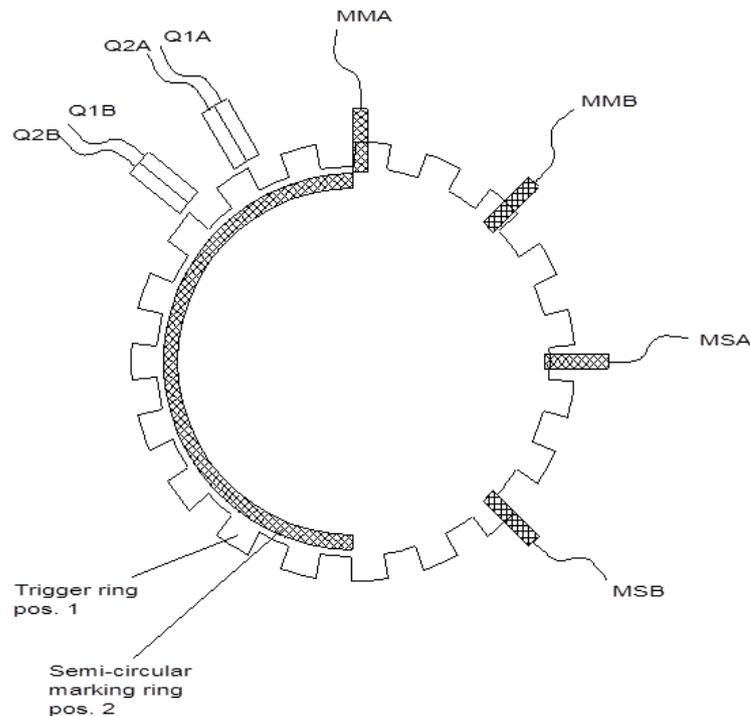
- Elimina potenciais erros humanos por intermédio de ajuste automático dos parâmetros;
- Baixo SFOC e melhor desempenho graças ao tempo variável eletronicamente da injeção de combustível e abertura da válvula de exaustão para qualquer carga;
- Pressão para injeção de combustível adequada;
- Característica de emissão melhorada, com baixos níveis de NO<sub>x</sub>;
- Sistema de controle com maior precisão nos ajustes, dando melhor balanceamento do motor com carga térmica equalizada entre os cilindros;
- Monitoramento contínuo e diagnóstico dá ao motor um maior tempo entre as manutenções;
- Lubrificadores de cilindro integrado com menor consumo de óleo lubrificante;
- Software supervisor atualizável durante toda vida do motor;
- Fácil mudança de modos de funcionamento durante a operação;

## 7. PRINCIPAIS DISPOSITIVOS DO MOTOR DE CONTROLE ELETRÔNICO

### 7.1 Sistema TACHO

Os motores de controle eletrônico não tem conexão direta com o eixo de manivelas, como nos motores convencionais onde as bombas injetoras de combustível e a operação das válvulas exaustoras possuindo tal conexão por corrente, então é necessário um sensor para dar a posição exata da posição do eixo de manivelas a fim de realizar as operações de cada cilindro. Normalmente há dois sensores por redundância, e em um modelo padrão temos dois sistemas: Sistema A e Sistema B

**Figura 10:** Sensor de posição do eixo de manivelas (TACHO)



Fonte: MAN Diesel

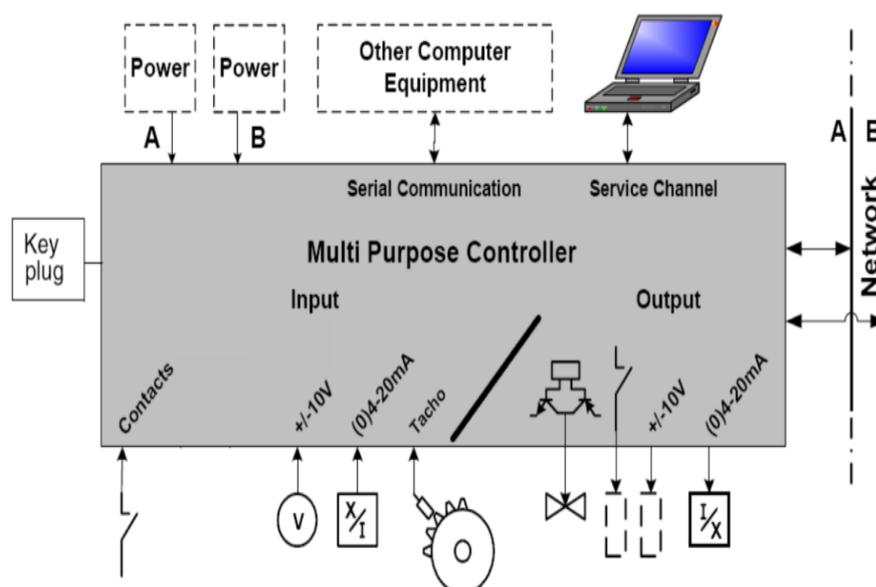
Um dispositivo eletromecânico (*Encoder*), que conta pulsos elétricos a partir da rotação de seu eixo, funciona como codificador de ângulo e é instalado na ponta do eixo de manivelas, e o outro sensor de referência é instalado no volante do motor. Cada conjunto de sensores mede a velocidade e a posição do eixo de manivelas para que haja sincronização para o controle de eventos, ou seja,

momento de abertura de válvulas, injeção de combustíveis e posição, para cada cilindro.

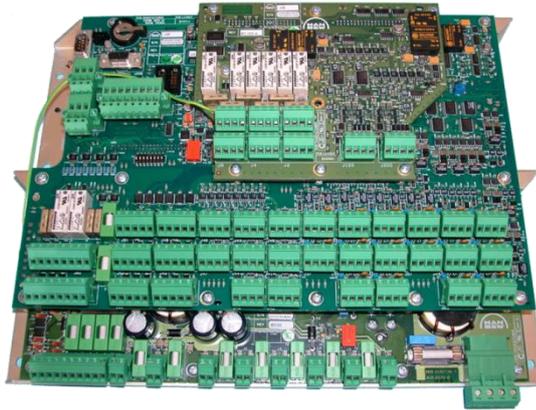
## 7.2 Sistema de Controle do Motor Principal

O Sistema de Controle do Motor Principal (*ECS: Engine Control System*) é projetado para controlar o motor remotamente; tem interfaces no Passadiço e no Painel Local do Motor Principal. Placas eletrônicas controladora de multipropósitos (*MPC*) são designadas como unidade controladora para executar tarefas específicas em diversos dispositivos como: ACU, CCU, ECU, e EICU. No motor MAN estas placas são de construção idêntica, diferenciando somente a programação (*software*) de cada uma, permitindo um alto nível de redundância e confiabilidade. Isto tem sido um requisito necessário para que falhas não causem uma parada repentina do motor, e em muitos casos uma única falha não afetará o desempenho ou disponibilidade de força no motor, tampouco parcialmente, não ativando assim, uma redução automática da velocidade (*slow down*). Qualquer controladora pode ser reposta sem a necessidade de interromper o funcionamento do motor propulsor, na qual será revertido imediatamente para a operação normal após a reposição da unidade com defeito.

**Figura 11:** Esquema de Ligação

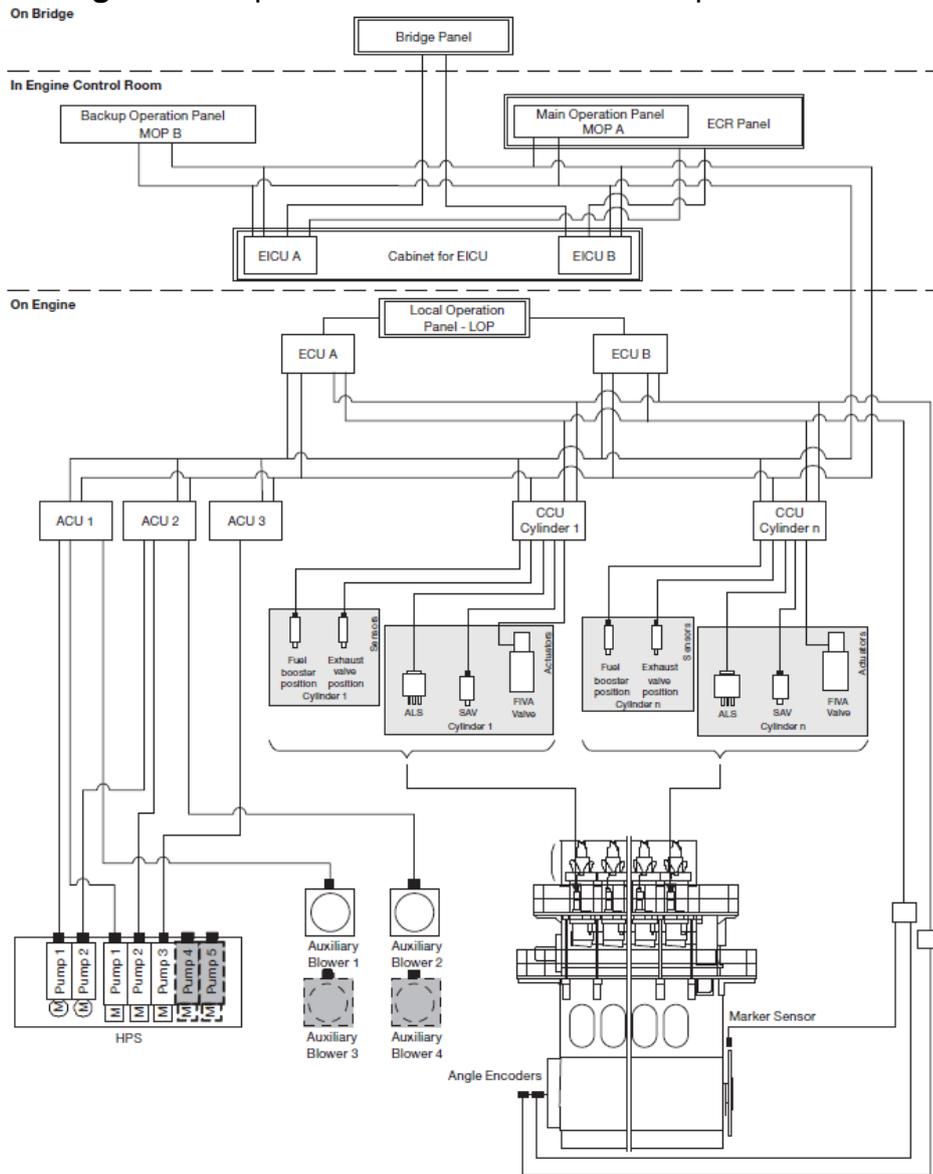


**Figura 6: Placa Controladora (MPC)**



Fonte: MAN Diesel

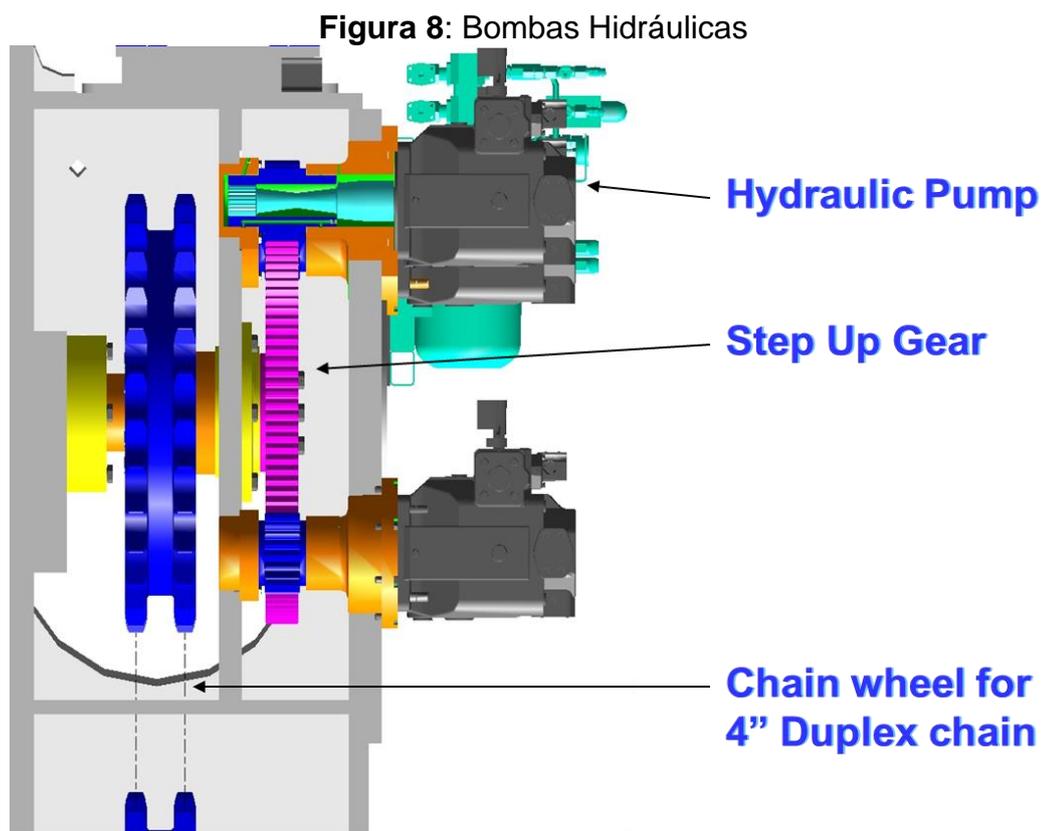
**Figura 7: Esquema do Sistema de Controle para Motores**



Fonte: [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)

### 7.3 Unidade Hidráulica de Potência (HPS)

A Unidade Hidráulica de Potência filtra e pressuriza o óleo lubrificante para uso no sistema, consistindo de bombas acopladas (pelo motor principal) ou bombas acopladas por motor elétrico, estas são usadas para pressurizar o sistema na partida quando o motor principal ainda está em repouso, ou uma combinação das duas. A pressão hidráulica pode atingir até 30 Mpa. O propósito dessa unidade hidráulica é fornecer pressão de óleo que fluirá pelas Unidades Hidráulicas de cada cilindro do motor principal, com as bombas acopladas por motor elétrico acionadas na preparação de partida do motor principal e sendo desligadas 25 segundos após o motor atingir 15% de sua velocidade. Normalmente são instaladas múltiplas bombas garantindo redundância para o sistema hidráulico de potência. O controle eletrônico destas bombas está dividido entre três Unidades de Controle Auxiliares (ACU).



Fonte: [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)

## 7.4 Unidade de Controle Auxiliar (ACU)

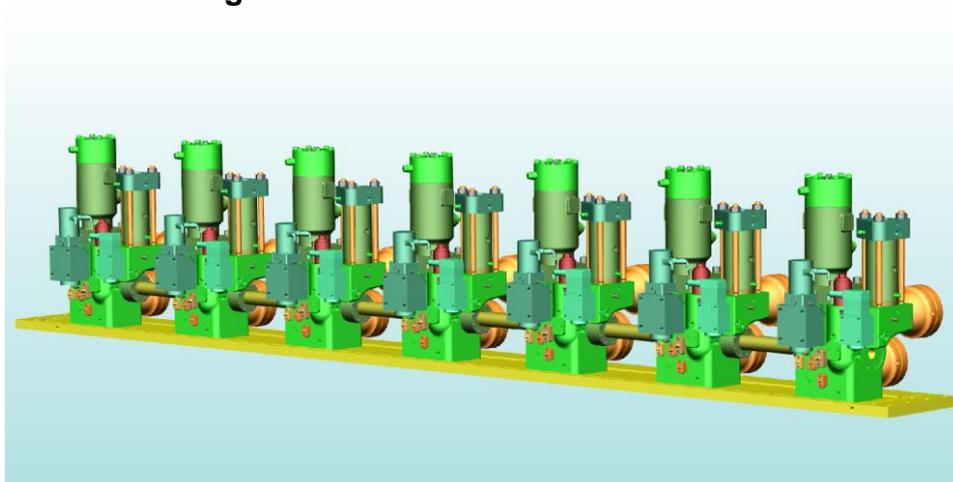
O controlador de equipamentos auxiliares do motor principal está dividido entre três Unidades de Controle Auxiliares (ACU), para que no evento de falha de uma destas unidades haja redundância suficiente para permitir o funcionamento normal do motor.

Tais unidades executam o controle dos sopradores auxiliares, definindo a sequência de partida por diferentes relés de atraso, o controle das bombas hidráulicas elétricas e também das bombas hidráulicas acopladas no motor principal (HPS), bem como válvulas e indicadores de pressão das bombas.

## 7.5 Unidade de Cilindro Hidráulica (HCU)

A Unidade de Cilindro Hidráulica (HCU) é instalada uma por cilindro e consiste em uma base na qual um bloco distribuidor é montado. O bloco distribuidor é adaptado para um número de acumuladores que asseguram que o maior fluxo de óleo hidráulico necessário esteja disponível para a controladora eletrônica de injeção de combustível, e esse bloco distribuidor serve como suporte mecânico para a ativação hidráulica da bomba de combustível; para a válvula atuadora hidráulica da válvula de exaustão; também possuindo componentes como: a bomba lubrificante de cilindro, acumuladores que fazem o papel de “colchão” hidráulico e também da válvula FIVA (*Fuel Injection Valve Actuation*), a qual é uma unidade de alta precisão que controla a injeção de combustível e a abertura da válvula de exaustão, tendo como a mesma função do eixo de cames nos motores convencionais.

**Figura 9:** Unidade de Cilindro Hidráulica



Fonte: [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)

## 7.6 Unidade Controladora do Motor (ECU)

Com propósito de redundância, o sistema de controle compreende duas unidades (ECU) operando em paralelo e executando a mesma tarefa, sendo uma auxiliar (*backup*) da outra e se acaso uma unidade falhar, a outra toma controle sem nenhuma interrupção do processo. Estas unidades realizam tarefas como:

- Função reguladora de velocidade, sequências de partida/parada, tempo exato de injeção de combustível, tempo exato de ativação da válvula de exaustão, tempo para abertura das válvulas de partida, etc.;
- Controle ininterrupto das funções exercidas pelas controladoras auxiliares (ACU); bloqueios de partida e giro lento (*slow turning*);
- Modos alternativos de funcionamento e programas;
- Controle de velocidade do motor e seus limitadores (partida, máximo combustível total e individual, torque, pressão hidráulica, etc.). Calcula o índice de combustível;
- Controla o modo de funcionamento do motor: modo econômico e modo de emissão.

## 7.7 Unidade Controladora do Cilindro (CCU)

O sistema de controle inclui uma unidade controladora de cilindro para cada cilindro e esta unidade controla a válvula de ativação das válvulas de injeção e de exaustão (FIVA) e também das válvulas de partida (SAV), de acordo com os comandos recebidos da Unidade Controladora do Motor (ECU). Todas CCUs são idênticas e no evento de falha de uma unidade para um cilindro, somente este será automaticamente interrompido na operação.

Suas principais funções são:

- Controle de injeção de combustível: válvula proporcional e monitoramento (*feedback*) da posição do pistão da bomba de combustível;
- Válvula exaustão: aberta ou fechada, sinal da posição da válvula usado para determinar o tempo de abertura;
- Lubrificadores de cilindro: ligado ou desligado, sinal da taxa de lubrificação controlado pelo ECU;

- Válvula de partida: liga ou desliga controlando o tempo de abertura da válvula solenoide.

## 7.8 Unidade de Interface de Controle do Motor (EICU)

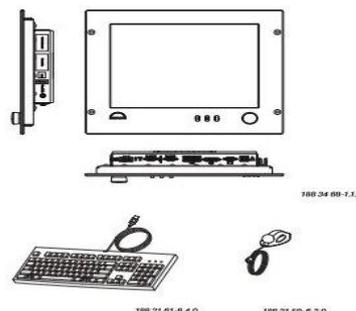
São duas unidades de interface controladoras (EICU), que executam tarefas que circundam o sistema de controle, elas operam em paralelo e garantem redundância para funções crítica na interface e estão localizadas ambas na Sala de Controle de Motores ou na Praça de Máquinas. Executam funções para:

- Sistema de segurança;
- Sistema de alarme;
- Sistema de telégrafo;
- Gerencia sistema de alimentação de energia elétrica;
- Define locais de operação: passadiço, sala de controle das máquinas ou controle local;
- Valor nominal de velocidade. Giro lento, gerador de eixo, controla aceleração, controle de carga e limita velocidade máxima.

## 7.9 Painel de Operações Principal (MOP)

Duas telas de operação redundantes são disponíveis para que os operadores executem os comandos do motor propulsor, ajustem seus parâmetros, selecionem os modos de operação do mesmo e observem o estado do sistema de controle. Ambas as telas são dispostas na Sala de Controle de Motores, uma sendo suporte para outra em caso de falha ou para ser manuseada simultaneamente se assim se desejar. A figura mostra o painel de controle.

**Figura 10: MOP (Main Operating Panel)**

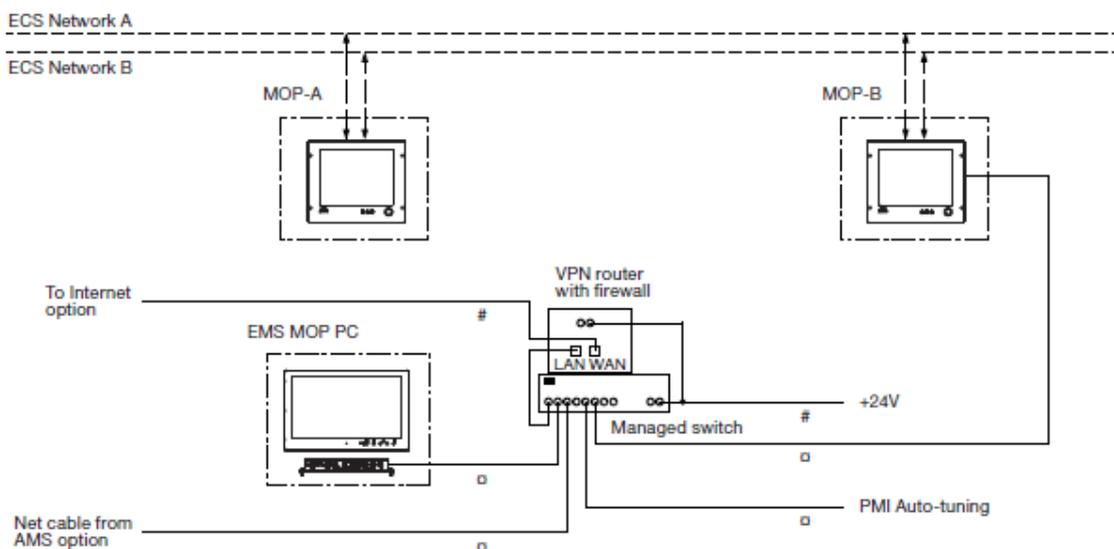


Fonte: [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)

## 7.10 Rede de Controle

Os painéis de operação principal (MOP) e as MPCs são interconectados através das redes (redundante) A e B respectivamente. Repetidores podem ser necessários para cabeados acima de 230 metros para evitar perda da qualidade do sinal. A conexão dos MOPs à rede é mostrada na figura.

**Figura 11:** Esquemático da Rede de Controle



Fonte: [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)

## 7.11 Fonte de Energia para o Sistema de Controle do Motor

O Sistema de Controle requer duas fontes de energia por baterias separadas: A e B. Elas também são exclusivas para o funcionamento dos componentes do Sistema de Controle de Motores não havendo conexão com o sistema de alimentação de corrente contínua do navio.

	Fonte de Energia A	Fonte de Energia B
Sistema	IT (oscilante), Sistemas CC com saídas isoladas individuais.	IT (oscilante), Sistemas CC com saídas isoladas individuais.
Tensão	Entrada 100-240V CA, 45~65 Hz, saída 24V CC.	Entrada 110-240V CA, saída 24V CC.
Proteção	Entrada sobre corrente, saída sobre corrente, saída alta/baixa tensão.	Entrada sobre corrente, saída sobre corrente, saída alta/baixa tensão.

Alarmes como contatos livres	Fonte CA, Unidade de Proteção contra Surtos (UPS) modo de bateria, Baterias não disponíveis (falha de fusível)	Fonte CA, Unidade de Proteção contra Surtos (UPS) modo de bateria, Baterias não disponíveis (falha de fusível)
------------------------------	--	--

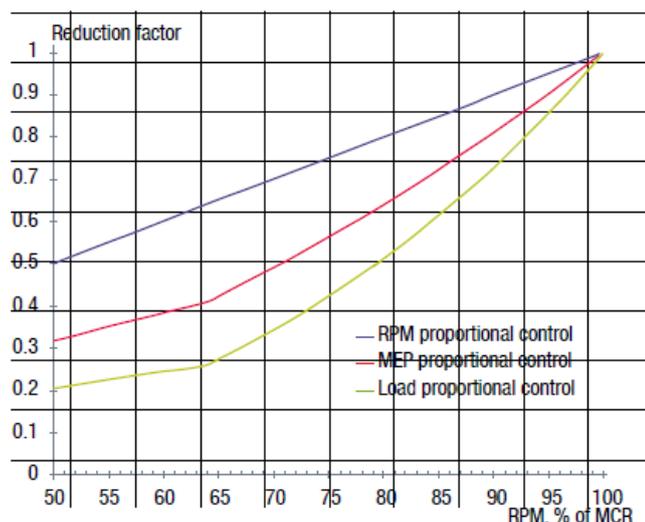
Proteção de alta ou baixa tensão, deve ser integrada no conversor CC/CC ou implementada separadamente, com a tensão de saída devendo estar na faixa de 18–31V CC.

## 7.12 Lubrificadores de Cilindro

Os lubrificadores de cilindro são controlados eletronicamente e são parte integrante do conceito de motor por controle eletrônico, sendo frequentemente usados também nos motores convencionais. Um dos muitos benefícios dos lubrificadores "Alpha" é que eles lubrificam as unidades de cilindro como uma função da carga do motor principal e não como uma função da velocidade do motor. Isto significa que os lubrificadores "Alpha" oferecem economias substanciais em baixa carga, como pode ser visto na figura.

Conforme o gráfico, por exemplo, 80% da velocidade do motor (50% da carga) os lubrificadores "Alpha", lubrificam com 35% a menos óleo de cilindro em comparação com a taxa de alimentação fornecida por um sistema dependente puramente mecânico.

**Figura 12:** Norma do Óleo de Cilindro



Fonte: [www.marine.man.eu](http://www.marine.man.eu)

### 7.13. Gerenciamento de Dados (EMS)

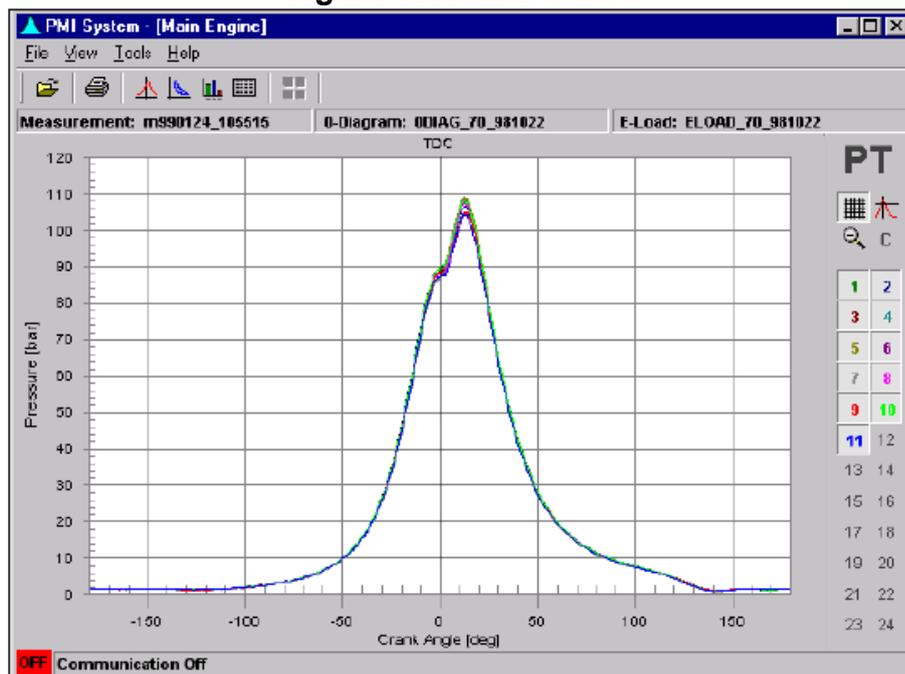
É um gerenciador do motor onde ele recebe diversos dados referentes às condições de funcionamento, os quais são registrados e transferidos para outros sistemas de controle integrados (ECS). Ele gerencia as ferramentas PMI e CoCoS-EDS descritas a seguir.

#### a) Sintonização Automática (PMI):

Sintonização Automática é uma ferramenta desenvolvida para esse tipo de motor por controle eletrônico que faz medições das pressões dos cilindros usando sensores instalados nos cabeçotes dos cilindros. Tais pressões são obtidas continuamente em tempo real e seus valores correspondentes são transferidos para o Sistema de Controle do Motor.

O Sistema de Controle continuamente monitora e compara as pressões de combustão com um valor de referência padrão. Assim, o Sistema de Controle automaticamente sintoniza o tempo de abertura das válvulas de combustível e exaustão de forma a reduzir os desvios entre os valores medidos e os valores de referência, o que fornece a pressão de combustão ótima para o próximo ciclo de queima, garantindo o bom funcionamento do motor para uma determinada pressão máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ) desejada.

Figura 19: PMI Software

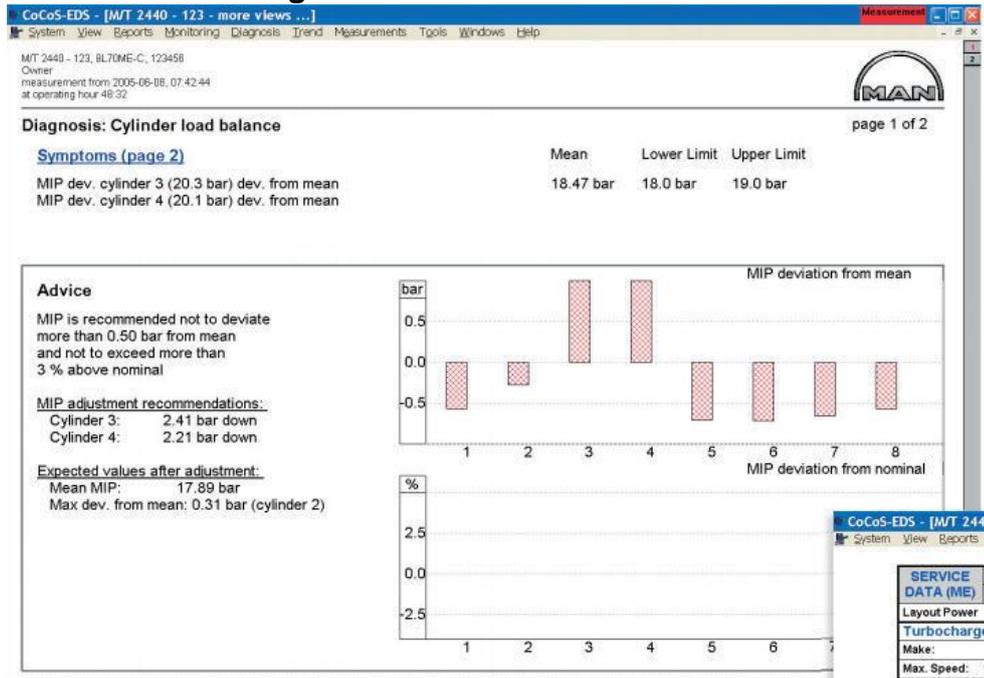


Fonte: MAN B&W. PMI guia do usuário

## b) CoCoS-EDS:

Ainda podemos citar outras ferramentas como o CoCoS-EDS (*Computer Controlled Surveillance – Engine Diagnostics System*), um programa que auxilia na manutenção preventiva, diminuindo falhas e danos, emitindo relatórios em tempo real das várias condições operacionais do motor.

**Figura 20: CoCoS-EDS Software**



Fonte: [img.informer.com/](http://img.informer.com/)

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou apresentar os avanços tecnológicos dos motores de dois tempos utilizados na navegação marítima, utilizando motores MAN como referência.

Diante de toda evolução dos motores de combustão, especificamente de uso naval, o uso da eletrônica no controle de tais motores foi de grande importância para aprimorar a tecnologia já conhecida dos motores convencionais.

Foi demonstrada a enorme versatilidade quando utilizamos o controle eletrônico nos processos de operação do motor de combustão, a possibilidade de ajuste dos parâmetros que antes eram inerentes à construção do motor, permitindo obter desempenhos antes inalcançáveis.

Com os altos preços do combustível, podemos agora reduzir os gastos, aumentando os ganhos, obtendo também uma maior redução da poluição por gases nocivos ao meio ambiente, além de cumprir as legislações pertinentes dos acordos internacionais.

Também foram apresentadas novas características que inovaram e surgiram após a prática desta tecnologia como a possibilidade de operar por longos períodos em baixa rotação sem maiores preocupações com a eficiência do motor dando um melhor consumo de combustível nessas condições; a redução de erros humanos também tem muita importância e facilita a operação e condução, devido aos ajustes automáticos dos parâmetros pelo sistema de controle do motor, além de que o sistema eletrônico fornece dados de prováveis falhas, suas causas e possíveis soluções para elas, proporcionando mais confiabilidade para o operador.

Dentre tantas vantagens do motor controlado eletronicamente, não há dúvida que estes se apresentam como principal substituto dos motores convencionais mecânicos dos navios mercantes.

## REFÊRENCIAS

**Manual Electronic Instruction.** Doosan Engine Co., Ltd. Engine Type: 7L70ME-C

MARINHA DO BRASIL. **Máquinas de Combustão Interna.** Ensino à distância CAD-CBMQ. Módulo 13. Diretoria de Portos e Costas. Ensino Profissional Marítimo, 1999.

**ME Engines – Electronic headway of two-stroke diesels.** Disponível em:

<[www.mandieselturbo.com](http://www.mandieselturbo.com)>. Acesso em: 12 ago. 2016.

**ME Engines – the New Generation of Diesel Engines.** Disponível em:

<<https://pt.scribd.com/doc/35947494/camless-two-stroke-main-propulsion-engine-B-W-ME-C>>. Acesso em: 20 de set. 2016.

**Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13.** Disponível em:

<[http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/nitrogen-oxides-\(nox\)-%E2%80%93regulation-13.aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/nitrogen-oxides-(nox)-%E2%80%93regulation-13.aspx)>. Acesso em: 12 set. 2016.

**Project Guides S70ME-C8.5.** Disponível em:

<<http://marine.man.eu/applications/projectguides/2stroke/manual.asp?manualid=3&engtypeid=59&engid=34>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

**The Computer Controlled Electronic Engine.** Disponível em:

<[http://www.marinediesels.info/2\\_stroke\\_engine\\_parts/Other\\_info/electronic\\_engine.htm](http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/Other_info/electronic_engine.htm)>. Acesso em: 20 jul. de 2016.

YAMAHA. **YTA Bronze:** Yamaha Technique Academy. Brasil, 2002