

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2019

VICTOR CARLOS DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA PARA MOTORES PROPULSORES DE
DOIS TEMPOS**

RIO DE JANEIRO

2019

VICTOR CARLOS DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA PARA MOTORES PROPULSORES DE
DOIS TEMPOS**

Monografia apresentada como 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 do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: OSM Ramessés Cesar da Silva Ramos

RIO DE JANEIRO

2019

VICTOR CARLOS DE OLIVEIRA NASCIMENTO

**SISTEMA DE INJEÇÃO ELETRÔNICA PARA MOTORES PROPULSORES DE
DOIS TEMPOS**

Monografia apresentada como 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 do Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: OSM Ramessés Cesar da Silva Ramos

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Assinatura do Aluno

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, razão maior de tudo, e em segundo lugar aos meus pais, Dona Célia e Seu Tita, e à minha esposa e companheira, Lisiany. A eles, por constituírem a base fundamental da minha educação e formação moral, e a ela, por todo o amor e por tudo o que tem feito para que os momentos distantes sejam menos infundáveis e os momentos juntos sejam sempre eternos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à tripulação do navio José Alencar pelo apoio ao longo desses anos, em especial ao CLC Caleber, CLC Brabo, OSM Baía e 1OM Gladiel pelo apoio fundamental que me permitiu chegar até aqui.

Agradeço ao empenho da equipe do EAD do CIAGA, em especial à Sra. Vanessa, que não mediu esforços para que eu pudesse realizar as provas da fase on-line em terras distantes, de forma que pudesse dar continuidade ao curso.

Agradeço a todos os colegas do curso APMA por todo o companheirismo, por tornarem os dias de aula mais divertidos. Obrigado pelos bizus!

Agradeço à paciência e dedicação da minha esposa, Lisiany Belchior.

To the infinite... and beyond!
(Buzz Lightyear)

RESUMO

A busca por economia de combustível e a necessidade de cumprimento de exigências ambientais mais severas relacionadas a emissões de poluentes atmosféricos levaram à introdução do comando eletrônico de injeção nos motores propulsores marítimos. Essa monografia utiliza como base de estudo os motores propulsores de dois tempos do fabricante MAN B&W, um dos maiores do setor, e descreve de forma sucinta as principais diferenças físicas e operacionais existentes entre os motores com comando eletrônico de injeção e os tradicionais motores puramente mecânicos produzidos por este fabricante. Também são destacados os componentes mecânicos, eletrônicos e hidráulicos adicionados aos motores com comando eletrônico e a forma como essas novas partes oferecem uma maior capacidade de controle do ciclo de queima, possibilitando atingir os ganhos de desempenho esperado. Outros pontos abordados são o sistema de controle e o supervisor, enfatizando as possibilidades de interação do operador com o motor no ajuste do ciclo de queima e na busca e resolução de possíveis falhas. Para todo o estudo descritivo foram utilizados majoritariamente manuais e materiais de cursos ofertados pelo fabricante do motor. Também contribuiu para o desenvolvimento do conteúdo todo o conhecimento técnico do autor, adquirido ao longo de cinco anos de experiência de trabalho com este equipamento.

Palavra-chave: Injeção eletrônica. Motor dois tempos. Sistema de controle. MAN B&W.

ABSTRACT

The search for fuel economy and the need to comply with more stringent environmental requirements related to atmospheric pollutant emissions have led to the introduction of electronic injection control in marine propulsion engines. This monograph uses the two-stroke engines of the MAN B & W manufacturer, one of the largest in the industry, as a basis for the study, and briefly describes the main physical and operational differences between the engines with electronic injection control and the traditional purely mechanical motors produced by this manufacturer. Also highlighted are the mechanical, electronic and hydraulic components added to the engines with electronic control and the way these new parts offer a greater ability to control the firing cycle, allowing to achieve the expected performance gains. Other points discussed are the control system and the supervisory system, emphasizing the possibilities of interaction between the operator and the engine in the setting of the firing cycle and in the search for and resolution of possible failures. For the entire descriptive study, manuals and course materials offered by the motor manufacturer were used. It has also contributed to the development of the content all the technical knowledge of the author, acquired over five years of experience working with this equipment.

Keywords: Electronic Injection. Two-stroke engine. Control system. MAN B&W.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

Figura 1:	Transmissão do motor dois tempos	16
Figura 2:	Unidade Hidráulica do Cilindro (HCU)	22
Figura 3:	Esquema do Sistema Tacho	23
Figura 4:	Sinais emitidos pelos sensores do Sistema Tacho	24
Figura 5:	MPC	25
Figura 6:	Entradas / Saídas da MPC	26
Figura 7:	Sistemas que interagem com a EICU	28
Figura 8:	Modificadores de Velocidade	28
Figura 9:	Atuação da ECU como regulador de velocidade	31
Figura 10:	Elementos comandados pela CCU	32
Figura 11:	Rede de dados do sistema de controle	34
Figura 12:	- Visão geral do sistema de controle	37
Figura 13:	Sistema PMI	38
Figura 14:	Gráfico PT gerado no PMI	38
Figura 15:	Gráfico PV gerado no PMI	39
Figura 16:	Diagrama comparativo das pressões no PMI	40
Figura 17:	Ajuste do Index nos cilindros	41
Figura 18:	Ajuste da pressão nos cilindros	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: ACUs x Equipamentos

30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Alpha Lubricator
ACU	Auxiliary Control Unit
CCU	Cylinder Control Unit
CoCos-EDS	Computer Controlled Surveillance – Engine Diagnostics System
ECU	Engine Control Unit
EICU	Engine Interface Control Unit
MCP	Motor de Combustão Principal
FIVA	Fuel Injection Valve Actuator
HCU	Hydraulic Cylinder Unit
HPS	Hydraulic Power Supply
LED	Light Emitting Diode
LOP	Local Operating Panel
MM	Marker Master
MOP	Main Operating Panel
MPC	Multi-Purpose Controller
MS	Marker Slave
PMI	Pressure Measurement Instrumentation
SAV	Start Air Valve
VIT	Variable Injection Time

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	MODIFICAÇÕES NO MOTOR DE DOIS TEMPOS	14
2.1	Eixo de cames	14
2.2	Regulador de velocidade	16
3	ELEMENTOS ADICIONAIS DO MOTOR COM COMANDO ELETRÔNICO	18
3.1	Sistema de Potência Hidráulica (HPS)	18
3.2	Unidade Hidráulica do Cilindro (HCU)	20
3.3	Sistema Tacho	22
3.4	“Multi Purpose Controller” (MPC)	24
3.4.1	Unidade de Controle da Interface do Motor (EICU)	27
3.4.2	Unidade de Controle Auxiliar (ACU)	29
3.4.3	Unidade de Controle do Motor (ECU)	30
3.4.4	Unidade de Controle do Cilindro (CCU)	31
3.5	Painel de Operação Principal (MOP)	32
3.6	Rede de dados	33
4	FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO	36
4.1	Sistema PMI	36
4.2	CoCoS – EDS	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos, quando nossos ancestrais se lançaram ao mar, o homem vem desenvolvendo tecnologias de navegação. Seja para fins comerciais ou bélicos, o foco das melhorias nos meios de propulsão inicialmente visou o desempenho, de forma a permitir um deslocamento mais veloz das embarcações. Algumas inovações como os barcos birreme e trirreme, o aprimoramento dos barcos a vela, o surgimento do barco a vapor e todo o desenvolvimento em torno dos motores a combustão marítimos são prova dessa busca. No entanto, outras necessidades surgiram, entre elas, a economia de combustível e mais recentemente, a busca pela redução da emissão de poluentes.

A economia de combustível é primordial para a rentabilidade do comércio marítimo, já que este insumo, além de indispensável, é o que mais onera o transporte. Já a redução de emissões se tornou necessidade devido às novas exigências ambientais impostas pela Organização Marítima Internacional (IMO), por meio do Anexo VI da Convenção MARPOL 73/78, e também devido às restrições adicionais impostas por alguns países. Estas duas demandas tem estimulado os fabricantes de motores a combustão a se debruçar sobre seus projetos em busca de plantas propulsoras mais sustentáveis, ou seja, que se adequem à demanda mundial por um planeta mais limpo, e ao mesmo tempo proporcionem redução de custos para os armadores.

Com relação ao desenvolvimento dos motores propulsores de dois tempos, esta busca por melhoria levou à introdução do comando eletrônico de injeção de combustível, técnica já bastante difundida nos nossos automóveis. Sua aplicação em motores marítimos permitiu níveis de controle e ajuste jamais imagináveis em motores puramente mecânicos. Toda essa evolução trouxe novidades tecnológicas que precisam ser bem compreendidos pelo pessoal de bordo responsável pela operação e manutenção do equipamento de forma a utilizar os recursos disponíveis da melhor forma possível, maximizando o desempenho do motor.

Utilizando o motor propulsor dois tempos do fabricante MAN B&W como base, neste trabalho serão descritos os principais componentes e sistemas presentes no motor com comando eletrônico, de forma que leitores possam se familiarizar com as diferenças entre estes e os motores tradicionais. A descrição visa também à compreensão dos ganhos proporcionados pela introdução dessa tecnologia e as possibilidades de ajuste e controle alcançadas. Todos os assuntos abordados estão organizados como mostrado a seguir.

O capítulo dois trata dos componentes retirados dos motores mecânicos para a conversão em motor com controle eletrônico, destacando a sua função. O entendimento dessas partes é essencial e prepara o leitor para a compreensão dos novos sistema e componentes introduzidos nos motores com comando eletrônico.

O capítulo três descreve os novos equipamentos e sistemas mecânicos, eletrônicos e hidráulicos adicionados ao motor. Eles foram introduzidos no intuito de que o sistema de controle atue de forma precisa, oferecendo as condições necessárias para que seja alcançado o máximo desempenho do motor. São expostas as funções de cada novo equipamento e/ou sistema e os ganhos que proporcionam ao motor, além de detalhar quais dessas partes substituem as funções antes exercidas pelos componentes excluídos, debatidos no capítulo 2.

O capítulo quatro destaca as ferramentas de análise de desempenho e ajuste do motor. São mostrados os programas de medição de desempenho, e de forma sucinta é descrito como esses recursos são aplicados para manter o desempenho do motor em níveis ótimos por um maior período.

2 MODIFICAÇÕES NO MOTOR DE DOIS TEMPOS

O motor diesel com comando eletrônico de injeção, seja ele de dois ou quatro tempos, funciona essencialmente da mesma maneira que um motor puramente mecânico, ou seja, ele vai obedecer aos mesmos princípios de um motor do ciclo diesel. O que diferencia operacionalmente os dois tipos é o nível de controle sobre o todo ciclo de operação do motor. Em motores eletrônicos as variáveis como os tempos de injeção, de abertura de válvulas e qualidade da queima, por exemplo, são manipulados de forma extremamente apurada quando comparados com um motor puramente mecânico. Para que esses motores operem com esse nível de precisão é necessário que haja algumas modificações construtivas, com modificação ou remoção de algumas partes mecânicas e introdução de outras partes mecânicas, eletrônicas e hidráulicas. Esses novos componentes devem realizar a função daquelas partes removidas, além de garantir as melhorias de desempenho desejadas no motor.

Os componentes de maior importância removidos do motor são o eixo de cames e o regulador de velocidade. Alguns exemplos de componentes modificados são os lubrificadores dos cilindros, as válvulas de descarga e as bombas injetoras, no entanto suas funcionalidades não foram alteradas, eles foram apenas modificados para se adequarem ao sistema de controle. Para que haja um melhor entendimento de como funcionam os motores com comando eletrônico, na sequência do capítulo, serão descritos os componentes removidos e dada uma breve introdução aos elementos que os substituíram.

2.1 Eixo de Cames

A função do eixo de manivelas é transferir a energia produzida na câmara de combustão para o eixo propulsor, convertendo o movimento linear dos pistões em torque na linha de eixo. Além disso, a energia transferida ao virabrequim também é aproveitada para acionar outras partes móveis do motor, sendo o eixo de cames a principal. Por meio de engrenagens e correntes de transmissão o movimento do eixo de manivelas é transferido para o eixo de cames, cuja função é o acionamento das válvulas de descarga, das bombas injetoras e dos lubrificadores dos cilindros.

O eixo de cames tem esse nome devido aos ressaltos distribuídos ao longo de toda sua superfície. Esses ressaltos são denominados cames e funcionam como atuadores dos componentes móveis citados no parágrafo anterior, transformando o movimento circular do eixo de cames em movimento linear (vai-e-vem). Seu giro ocorre em absoluta sincronia com o

eixo de manivelas e cada came é responsável pelo acionamento de um componente. Sendo assim, é necessária extrema precisão no posicionamento dos cames durante a fabricação, de forma que o acionamento ocorra exatamente no tempo para o qual o motor foi projetado.

No acionamento da bomba injetora o came atua diretamente sobre seu êmbolo, empurrando-o e pressurizando o combustível até a pressão de injeção ser atingida nos injetores. No caso da válvula de descarga, o came atua sobre uma bomba hidráulica, que utiliza o próprio óleo do poceto para executar a abertura da válvula de descarga (o fechamento é pneumático). É importante notar que devido ao eixo de cames girar em sincronismo com o eixo de manivelas, a abertura da válvula de descarga ocorre sempre no mesmo ângulo do eixo, ou seja, no mesmo tempo. Dessa forma não há possibilidade de ajuste algum de forma a adiantar ou atrasar a abertura da válvula de descarga visando melhorar o desempenho do motor durante o seu funcionamento. No caso da bomba injetora, ainda há possibilidade de um pequeno ajuste no tempo de injeção devido ao sistema VIT (Tempo de Injeção Variável). O VIT utiliza uma cremalheira que muda mecanicamente a posição do corpo da bomba injetora, fazendo com que a pressão de abertura dos injetores seja atingida um pouco adiantada ou atrasada em relação ao tempo padrão, no entanto esse ajuste é muito limitado. Maiores ajustes implicam na parada do motor, podendo envolver a regulagem mecânica de algum componente, tarefa que pode ocasionar alto custo de mão de obra e material.

No motor com controle eletrônico, o eixo de cames, e conseqüentemente a transmissão (Figura 1), deixam de existir, dando lugar a componentes eletrônicos, sensores especiais e um sistema hidráulico de potência. Este último fornecerá a energia para atuação dos componentes do motor antes acionados pelo eixo de cames. A retirada desses componentes trás duas vantagens imediatas, a primeira delas é a redução das dimensões do motor, principalmente a axial, devido à saída da transmissão. Essa alteração reduz, por exemplo, o comprimento de um motor eletrônico de seis cilindros a um comprimento próximo ao de um motor mecânico de cinco cilindros. Outra vantagem imediata é que a energia transmitida ao eixo de manivelas não vai ser mais desperdiçada no acionamento do eixo de cames, o que reduz as perdas de potência, melhorando com isso o seu rendimento.

Figura 1 - Transmissão do motor dois tempos



Fonte: www.marinediesels.info

2.2 Regulador de velocidade

O aumento ou diminuição da massa de combustível injetada no motor propulsor de dois tempos é responsável pelo acréscimo ou decréscimo da sua velocidade e é função da quantidade de carga, da condição de mar, do arrasto do casco, do *setpoint* de velocidade, entre outros. Essa variação é obtida pela atuação da cremalheira localizada em cada bomba injetora. A cremalheira é uma haste metálica serrilhada, que está em contato com o êmbolo da bomba injetora. Seu movimento linear, entrando ou saindo do corpo da bomba injetora, gera um movimento de rotação no êmbolo. O giro do êmbolo em torno do seu eixo faz com que o débito de combustível, devido ao formato do êmbolo, aumente ou diminua.

O controle das cremalheiras, por sua vez, é realizado pelo componente do motor conhecido como regulador de velocidade. O regulador é um componente mecânico-hidráulico bastante delicado, que atua de acordo com o comando recebido da alavanca de combustível localizada na sala de controle. Geralmente o regulador é constituído por um conjunto de contrapesos girantes sensíveis às variações e solicitações de carga do motor, e que, por força centrífuga atua nas cremalheiras das bombas injetoras. O regulador irá operar de forma a

variar e estabilizar a injeção de combustível, acelerando ou desacelerando o motor, e mantendo a rotação dentro do valor desejado durante sua operação.

Nos motores eletrônicos o regulador de velocidade é substituído por um sistema de controle eletrônico muito mais eficiente. Esse sistema leva em consideração dados como, o poder calorífico, a densidade do combustível e pressão de ar de lavagem para determinar a quantidade correta a ser injetada. O sistema de controle não apenas regula a quantidade de combustível mais próxima da ideal para aquela condição, mas também atua no tempo de injeção, evitando desperdícios e preservando a integridade do motor, principalmente em condição de baixa carga e diminuindo de forma considerável as emissões de poluentes, inclusive com modos de injeção que seriam impraticáveis com a utilização do eixo de cames.

3 ELEMENTOS ADICIONAIS DO MOTOR COM COMANDO ELETRÔNICO

No capítulo anterior foram expostos os principais componentes presentes nos motores mecânicos, mas que foram substituídos por outros componentes nos motores eletrônicos. A partir de agora serão destacados esses novos componentes introduzidos, de forma que o motor eletrônico pudesse executar as mesmas funções do motor mecânico e como essas novas partes contribuem para a melhoria do desempenho geral do motor. Dentre as melhorias pode-se destacar:

- Redução do consumo de combustível;
- Redução da emissão de poluentes;
- Redução do desgaste e carbonização do motor em baixa carga;
- Redução do consumo de óleo lubrificante no cilindro;
- Ganho de potência;
- Maior flexibilidade na regulagem dos parâmetros do motor;
- Maior qualidade no diagnóstico de anormalidades;

3.1 Sistema de Potência Hidráulica (HPS)

A retirada do eixo de cames não eliminou a necessidade de uma fonte de energia para a realização do trabalho de acionamento das bombas injetoras, das válvulas de descarga e dos lubrificadores dos cilindros. A execução destas tarefas sofreu grandes modificações, e quem agora fornece essa energia é um Sistema Hidráulico de Potência (HPS). No motor com comando eletrônico, o sistema de controle é responsável por enviar os comandos que regulam o tempo de abertura e fechamento das válvulas de descarga, operam a bomba injetora no tempo e com o débito corretos e acionam os lubrificadores dos cilindros. No entanto, os atuadores desses dispositivos são todos hidráulicos. Para tanto, o HPS opera com uma pressão média de 190-200 bar, alimentado por um conjunto de bombas hidráulicas e que utilizam o mesmo óleo do poceto.

O óleo que flui através do sistema hidráulico, extraído do sistema principal de óleo lubrificante do motor, precisa de um tratamento especial, mais rigoroso que o tratamento dado ao óleo que lubrifica os mancais do motor. Cabe lembrar que o óleo que chega aos mancais é, em condições normais, purificado continuamente nas centrífugas e passa por um filtro automático com malha de 30 μ m, além de um filtro magnético. A maior rigorosidade de filtragem para o sistema hidráulico se deve ao fato de que sistemas hidráulicos operam com

folgas muito pequenas entre seus componentes. A vedação entre as partes móveis geralmente ocorre apenas devido a pouca folga observada entre as superfícies móveis e sem a presença de anéis de borracha ou gaxetas. Sendo assim, qualquer impureza, por menor que seja, mas que tenha as dimensões dessa folga pode danificar ou travar uma válvula, por exemplo, comprometendo severamente a operação de todo o sistema.

O óleo segue o seguinte percurso no sistema hidráulico: primeiramente a bomba de óleo lubrificante principal aspira óleo do poceto que é bombeado através resfriador de óleo, passa pelo filtro automático do motor principal e depois é levado até o motor. Antes de entrar no motor, ocorre uma derivação na rede de óleo lubrificante principal, a qual conduz parte desse óleo para o HPS. O fluxo desviado passa então por um segundo filtro automático, dessa vez com uma malha de filtragem de apenas 5 μ m, ou seja, seis vezes mais estreita que o primeiro filtro, de forma a eliminar quaisquer micropartículas danosas ao sistema. Após a filtragem o óleo estará em condição para atuar no sistema hidráulico.

O filtro automático do sistema hidráulico é dotado de retrolavagem pneumática, realizada de tempos em tempos de acordo com o seu controlador. O óleo residual da retrolavagem não é descartado como borra, a exemplo do que ocorre no filtro automático do motor principal. Ele é simplesmente devolvido ao poceto, pois ainda se encontra em perfeitas condições para ser utilizado como óleo lubrificante dos mancais, uma vez que já passou por um processo de filtragem e purificação condizentes com essa operação.

Após o filtro automático chegamos às bombas hidráulicas. O sistema conta com um conjunto de bombas que elevam a pressão na rede para valores em torno de 200bar. A quantidade de bombas necessárias varia de acordo com o tamanho do motor, podendo variar de cinco a sete elementos. Desse total, independentemente do motor, duas das bombas hidráulicas são acionadas por motor elétrico. O restante das bombas é acionado pelo volante do motor por meio de acoplamento mecânico. As bombas elétricas são do tipo de pistões axiais de vazão variável, comumente denominadas “swash plate”. No entanto, são utilizadas apenas com débito constante, e são empregadas exclusivamente antes da partida do motor, de forma que haja uma pressão inicial no sistema hidráulico para a partida. Após a partida, com o ganho de rotação, as bombas acopladas são acionadas pelo movimento do volante e as elétricas são desativadas alguns segundos após o motor atingir uma rotação pré-determinada, e assim permanecem durante todo o tempo em que o motor estiver em funcionamento.

As bombas acopladas, também do tipo “swash plate”, tem débito variável e são controladas eletronicamente. Durante a operação normal uma das bombas é controlada em modo “master”, respondendo mais rapidamente às variações de carga no sistema. As bombas restantes operam em modo “slave” e respondem de forma mais lenta às solicitações do sistema. Esse modo de operação evita que haja picos de pressão toda vez que a vazão necessitar de ajustes, ao mesmo tempo em que mantém uma boa velocidade de resposta. Nos motores com mais de 3 bombas acopladas, as bombas extra funcionam com vazão fixa, com controle binário, ou seja, em 100% avante ou 100% á ré. As bombas possuem sensores que enviam, por meio de amplificadores, um sinal (4 a 20mA) de inclinação do corpo da bomba ao sistema de controle, que indica qual o percentual de carga da mesma.

O óleo hidráulico impelido pelas bombas é então distribuído entre as unidades hidráulicas de comando dos cilindros por meio de redes de parede dupla. O óleo flui pela camada mais interna, e dessa forma essas redes protegem o sistema de borrifos de óleo em caso de vazamentos. Além disso, o espaço vazio entre as duas paredes leva a um reservatório especial dotado de uma chave de nível por contato para detecção de vazamentos de óleo, integrado ao sistema de alarmes do motor e do centro de controle. Nas unidades de controle dos cilindros o óleo irá exercer a função de atuador de diversos componentes, ou seja, irá atuar como substituto do eixo de cames. Seu funcionamento e os elementos que a compõem serão detalhados a seguir.

3.2 Unidade Hidráulica do Cilindro (HCU)

Cada um dos cilindros do motor possui sua própria HCU (Figura 2), que é composta por um bloco distribuidor, uma unidade “booster” de óleo combustível (bomba injetora), um atuador da válvula de descarga, uma bomba de lubrificação de camisa (“Alpha Lubricator”), dois acumuladores e algumas válvulas. Sobre o bloco distribuidor são montados todos esses componentes,. As válvulas de isolamento, de dreno e tomadas de inspeção são utilizadas para manutenção no sistema e isolamento da UHC em caso de falha. Além disso, sobre o distribuidor encontra-se instalada também a válvula FIVA (“Fuel Injection – Valve Actuator”).

A FIVA é uma válvula proporcional controlada eletronicamente e, como o nome sugere, atua na injeção de combustível e no comando de abertura da válvula de descarga. Nos projetos iniciais desses motores eram utilizadas duas válvulas distintas para cada função. No entanto, aproveitando o fato de que durante a injeção de combustível a válvula de descarga

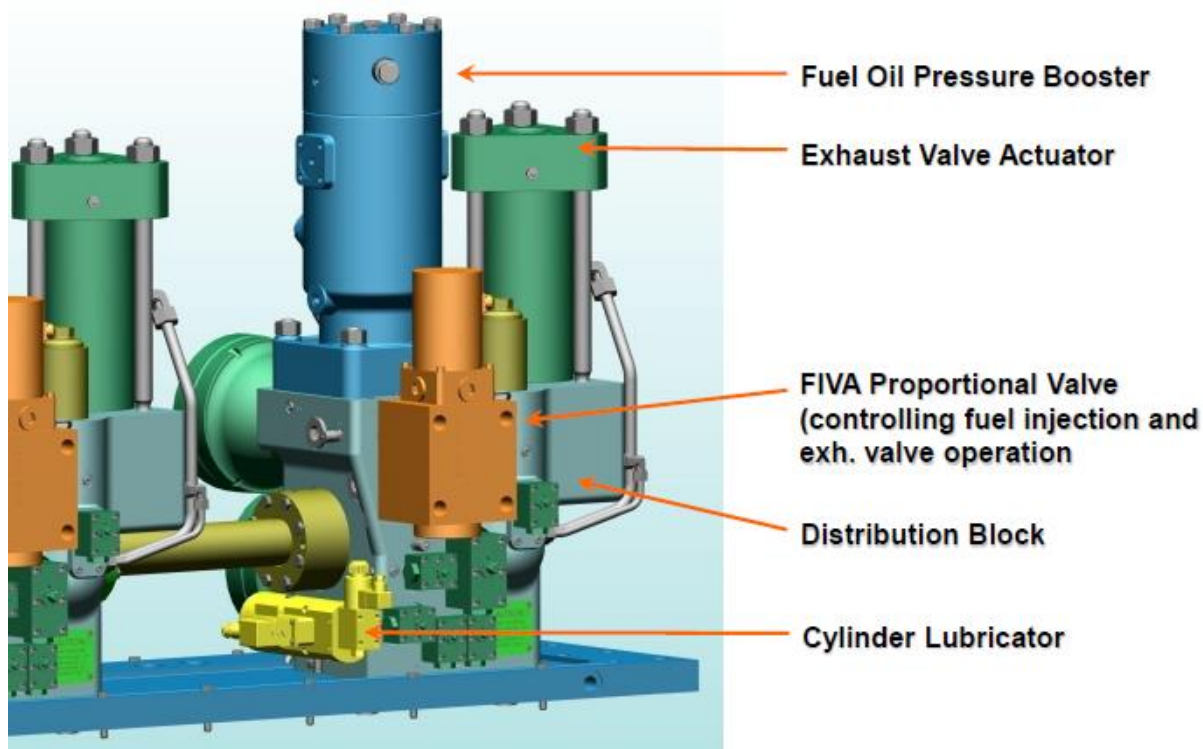
está fechada, e durante a abertura da válvula de descarga não há injeção, a FIVA, que possui três posições, pode sozinha realizar essas duas funções. Durante a injeção, a FIVA permite a passagem do óleo hidráulico, que irá movimentar o êmbolo da bomba injetora. No momento da abertura da válvula de descarga a FIVA irá ser comandada no intuito de permitir a passagem de óleo hidráulico para comando do atuador hidráulico da válvula de descarga.

A bomba injetora é um dos elementos que sofreu modificações em relação às utilizadas nos motores mecânicos. Antes o seu retorno à posição inicial após a atuação do eixo de cames era realizado por mola. No motor com comando eletrônico a pressão da rede de óleo combustível, em torno de 8bar, é a responsável por devolver o êmbolo à posição inicial logo após a pressão hidráulica ser aliviada na sua face inferior. Com isso, bastante atenção deve ser dada à pressão do óleo combustível na entrada do motor, pois caso esteja muito baixa, pode ocasionar o não retorno do êmbolo à posição inicial, prejudicando a injeção. A bomba injetora possui um sensor de posição que fornece ao sistema de controle a posição do êmbolo, de forma que qualquer alteração anormal no seu curso seja detectada.

A válvula de descarga, a exemplo da bomba injetora, também foi dotada de um sensor de posição, que indica qualquer movimentação anormal da mesma. Seu atuador hidráulico continua operando da mesma forma que antes, e o fechamento da válvula continua sendo pneumático.

O processo de injeção de combustível e atuação da válvula de descarga pode gerar oscilações severas de pressão no sistema hidráulico, e com o tempo gerar fadiga nos componentes, além de interferir na precisão dos atuadores, e conseqüentemente na qualidade da queima no motor. Para mitigar esses efeitos nocivo, cada HCU possui dois acumuladores, que servem como armazenadores de energia do sistema. Os acumuladores são reservatórios, que possuem um diafragma preenchido com nitrogênio em um dos lados. O outro fica em contato com o óleo. Quando a pressão hidráulica aumenta, o diafragma comprime o nitrogênio. Quando, por alguma razão, a pressão no sistema cai, o nitrogênio se expande e equilibra essa variação, diminuindo os efeitos da oscilação de pressão. Além disso, os acumuladores também auxiliam na manutenção da pressão caso haja alguma perda de óleo. Cada uma das bombas acopladas também possui seu próprio acumulador.

Figura 2 - Unidade Hidráulica do Cilindro (HCU)

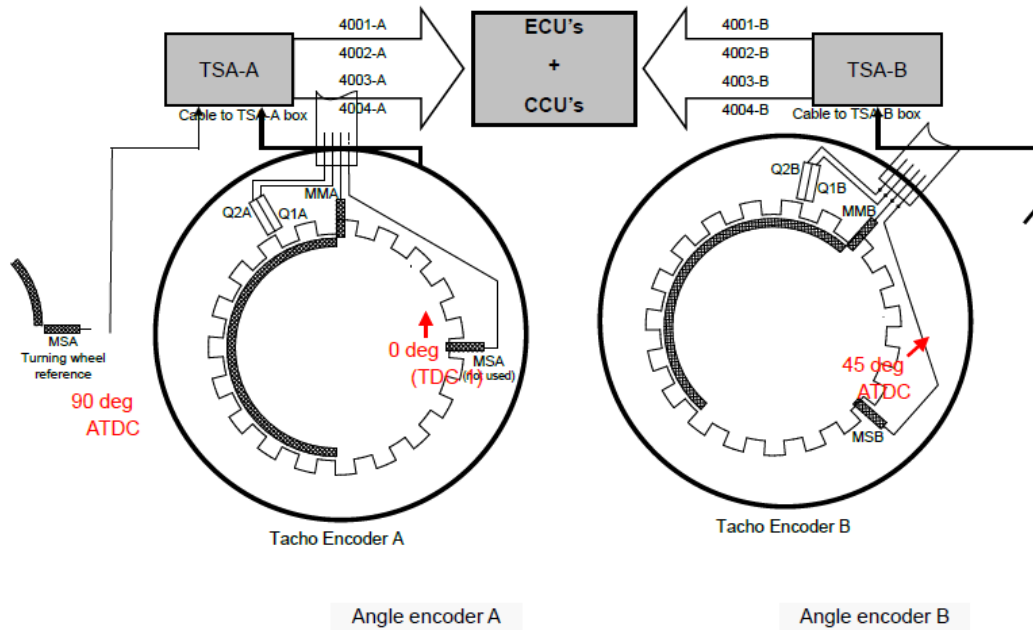


Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

3.3 Sistema Tacho

Como mostrado no capítulo 2, os motores com sistema eletrônico de injeção MAN não possuem eixo de cames. Sendo assim, toda a sincronia mecânica entre o eixo de manivelas e a atuação das bombas injetoras e válvulas de descarga foi perdida. Com isso, foi necessária a aplicação de um novo sistema que pudesse determinar com precisão a posição exata da árvore de manivelas em qualquer condição, de forma a permitir que o sistema de controle pudesse atuar no momento correto nos sistemas de injeção de combustível, comando de válvula de descarga e lubrificação de cilindro. Todo esse trabalho é realizado pelo sistema Tacho, que consiste num conjunto de sensores eletromecânicos, denominado “Encoder”, que fica acoplado à extremidade do eixo de manivelas oposta ao volante. Além do Encoder, há ainda um sensor de referência, posicionado junto ao volante. Os sinais produzidos por esses sensores são transmitidos por dois amplificadores redundantes, denominados Amplificador do Sistema Tacho A e B (TSA-A e TSA-B), às placas controladoras denominadas Unidade de controle do Motor (ECU) e Unidade de Controle do Cilindro (CCU), que serão mais bem explicadas adiante.

Figura 3 - Esquema do Sistema TACHO



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

O sensor de referência é excitado pela passagem de um anel semicircular instalado no volante. O início da medição desse sensor indica que o motor está 90° após o Ponto Máximo Superior (PMS) do cilindro 1, ou seja, na posição de 90° do eixo de manivelas. A instalação da referência no volante se justifica pelo fato de que o volante nunca será mudado de posição no motor, sendo assim não há possibilidade desse referencial ser modificado. A partir do sinal de referência o Encoder se ajusta para determinar com precisão de 0,1° a posição do eixo de manivelas.

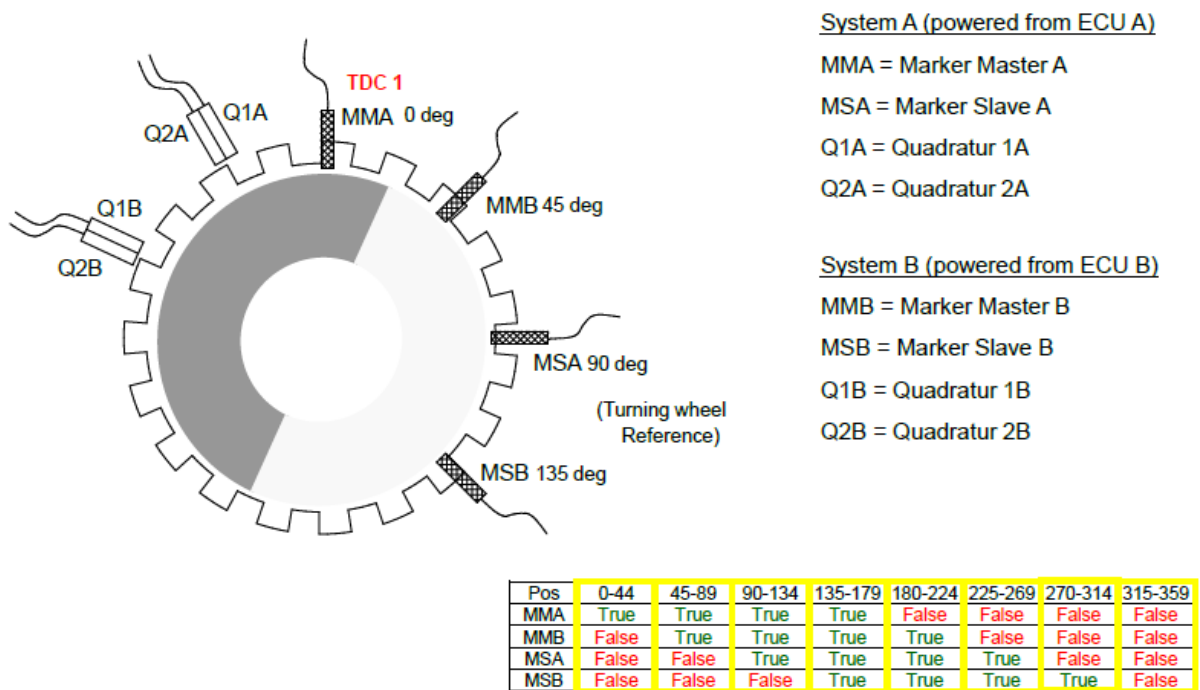
O Tacho possui dois sistemas redundantes, Sistema A e Sistema B. O sensor de referência no volante faz parte do sistema A. Cada sistema é composto pelos seguintes sensores: “Marker Master” A e B (MMA e MMB), “Marker Slave” A e B (MSA - no volante e MSB), “Quadratur” 1 (Q1A e Q1B) e “Quadratur 2” (Q2A e Q2B).

Os sensores MMA, MMB, MAS e MSB medem a partir de um anel semicircular, ou seja, emitem sinal durante 180° de giro do virabrequim durante a passagem do anel. MMA e MSA estão defasados de 90° entre si, da mesma forma que MMB e MSB. Os sensores de quadratura trabalham aos pares Q1A e Q2A juntos, e Q1B e Q2B da mesma forma. Eles medem a partir de um anel de gatilho com 360 dentes. Sendo assim, a combinação dos tempos entre os pulsos emitidos por Q1A e Q2A ou por Q1B e Q2B é utilizado para determinar com

bastante precisão a rotação e o sentido de rotação do motor, dando uma precisão de 0,1° na medição.

Os 4 sensores de cada sistema (A ou B) trabalham em conjunto da seguinte forma: ao ser acionado o MM pelo anel semicircular, o sistema irá contar quantos dentes passaram por Q1 e Q2. Esse valor terá que ser exatamente 90 (MM e MS estão defasados de 90°) assim que o sensor MS emitir sinal devido à passagem do anel semicircular, caso contrário ocorrerá falha no sistema com alarme de desalinhamento no Tacho. O conjunto de sinais emitidos está mais bem representado na Figura 4.

Figura 4 – Sinais emitidos pelos sensores do Sistema Tacho



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Da Figura 4 pode-se perceber que os sistemas A e B estão defasados de 45°. O sistema A é alimentado pela placa controladora ECUA e o sistema B pela ECUB. O Sistema Tacho A é o principal, caso ocorra alguma anormalidade, o sistema B assume o controle até que o motor seja parado para o devido reparo.

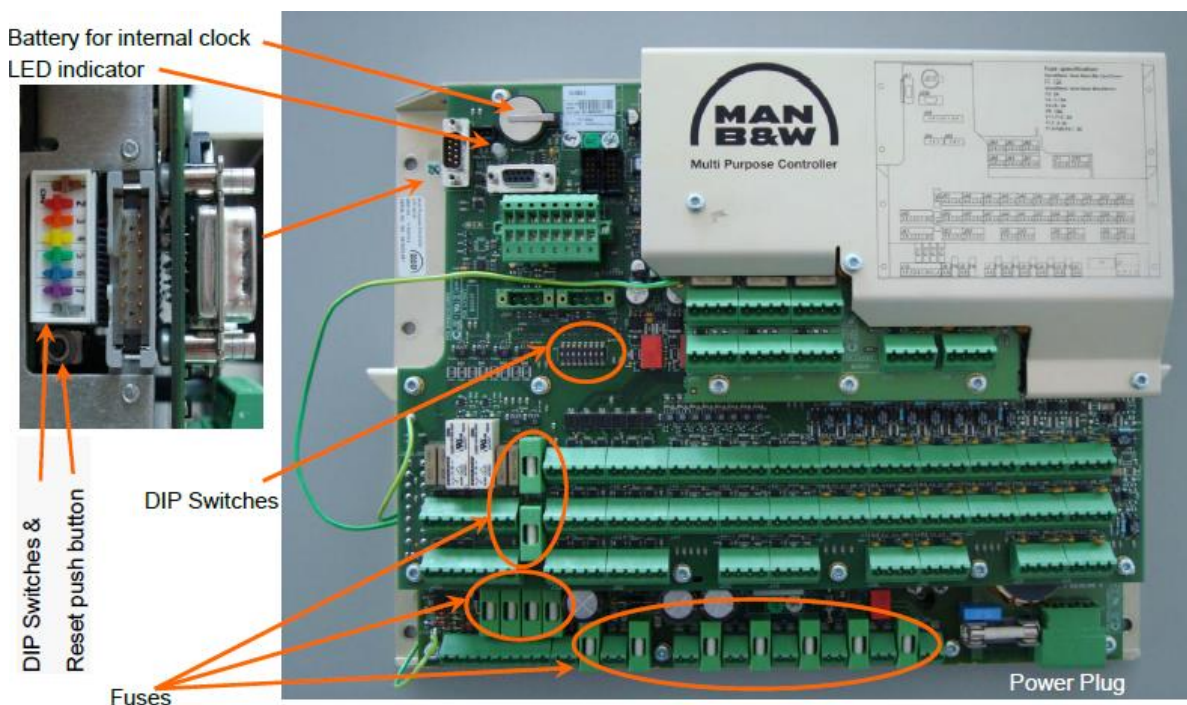
3.4 “Multi Purpose Controller” (MPC)

Para que o sistema de controle do motor realize todas as suas funções de forma correta, e confiável são utilizadas placas controladoras exclusivas, denominadas de MPC. Essa designação advém do fato de que as placas são fisicamente idênticas, independentemente

da sua destinação, ou seja, podem ser aplicadas para qualquer uma das funções do sistema de controle e em qualquer modelo de motor que utilize este tipo de placa. A diferenciação entre as placas se dá apenas em nível lógico, ou seja, no *software*.

As MPCs ficam alocadas no centro de controle ou na praça de máquinas, próximo ao motor, e são instaladas em gabinetes devidamente identificados e com grau de proteção IP66 (proteção contra poeira e jatos de água salgada). Cada placa possui conectores para sinais de entrada e saída (Figura 5 e Figura 6), contatos de entrada e de saída, leds indicadores de estado, fusíveis de proteção e bateria substituível, para manter sua memória em caso de falha na alimentação de 24VDC. As entradas e saídas podem ser de +/-10 V ou de 4-20 mA. Toda MPC possui também os “dip-switches”, pequenos interruptores que devem ser acionados apenas em situações específicas e obedecendo as instruções do fabricante. Uma combinação deve ser acionada, por exemplo, para a realização do “download” do programa de controle a ser instalado na placa.

Figura 5 – MPC

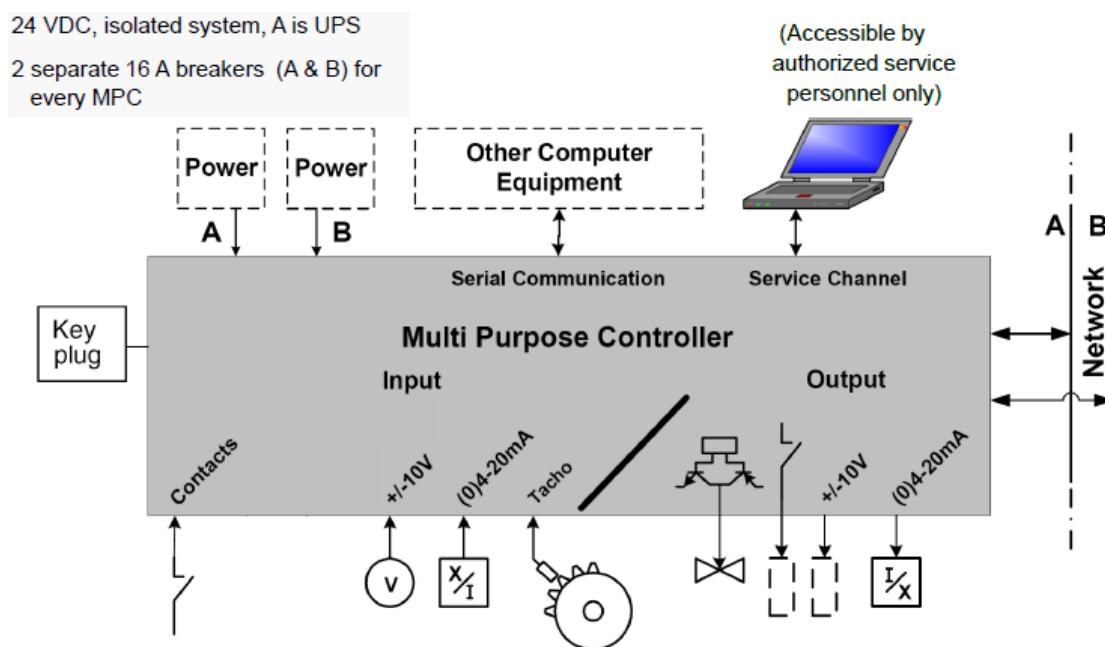


Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Em caso de falha, a substituição da placa é realizada de maneira relativamente simples. Todos os conectores possuem identificação alfanumérica, com numeração equivalente na placa. Sendo assim, basta desconectá-los e realizar a reconexão na nova MPC. Ao final da instalação no gabinete, a placa é conectada a uma chave eletrônica que contém informações

sobre a sua função naquele respectivo gabinete. Deve-se realizar o acionamento dos “dip-switches” relativos ao download e instalação automática do programa de controle que a MPC deve executar. Quando a alimentação elétrica for conectada, a MPC irá realizar o download do programa e o andamento do processo poderá ser acompanhado por meio da combinação de sinais luminosos emitidos pelo LED indicador da placa.

Figura 6 - Entradas / Saídas da MPC



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

A quantidade de MPCs no sistema varia apenas de acordo com a quantidade de cilindros no motor. Elas são classificadas da seguinte forma:

- ACU (*Auxiliary Control Unit*) – duas MPCs (ACU1 e ACU2)
- ECU (*Engine Control Unit*) – duas MPCs (ECUA e ECUB)
- EICU (*Engine Interface Control Unit*) – duas MPCs (EICUA e EICUB)
- CCU (*Cylinder Control Unit*) – uma MPC por cilindro (CCU1, CCU2, CCU3, ..., CCUn)

Quando se observa com atenção a nomenclatura das placas pode-se notar que algumas terminam em números, como em ACU1, já outras terminam em letras, como em ECUA. Essa diferenciação se deve ao fato de que aquelas finalizadas em letras são redundantes entre si, ou seja, realizam as mesmas operações de controle o tempo inteiro. É como se as duas fossem a

mesma placa, com placa “A” sempre como principal, que em condições normais, controla de fato as funções a que se destina. Ela é substituída automaticamente pela placa “B” em caso de falha. Nota-se que o motor continua em funcionamento caso uma das placas redundantes falhe, possibilitando a continuação da operação do sistema de forma normal, mas com redundância reduzida. Isso possibilita que a o reparo ou substituição na MPC possa ser adiado até que o navio esteja em condição segura.

As placas finalizadas em números não são redundantes, ou seja, controlam partes, sistemas ou acessórios diferentes no motor, apesar de essencialmente desempenharem as mesmas funções. Como exemplo pode-se tomar a CCU1 e a CCU2, que realizam a mesma função (controlar seu respectivo cilindro), mas em cilindros diferentes. Caso uma dessas placas venha a falhar o motor irá parar por “shut-down” e a placa deverá ser imediatamente substituída.

Uma consequência interessante e prática da redundância entre as MPCs é que se, por acaso, uma das não redundantes falhar e não houver sobressalente a bordo, a placa poderá ser substituída por umas das MPCs redundantes que possuem outra função, por exemplo: em caso de falha na CCU3, pode-se remover a EICUB e transferi-la para o gabinete da CCU3. O sistema irá operar normalmente, apenas com perda de redundância nas funções da EICU. Em situações críticas esta pode ser uma condição aceitável até que seja realizado o devido reparo e o sistema volte à condição normal.

3.4.1 Unidade de Controle de Interface do Motor (EICU)

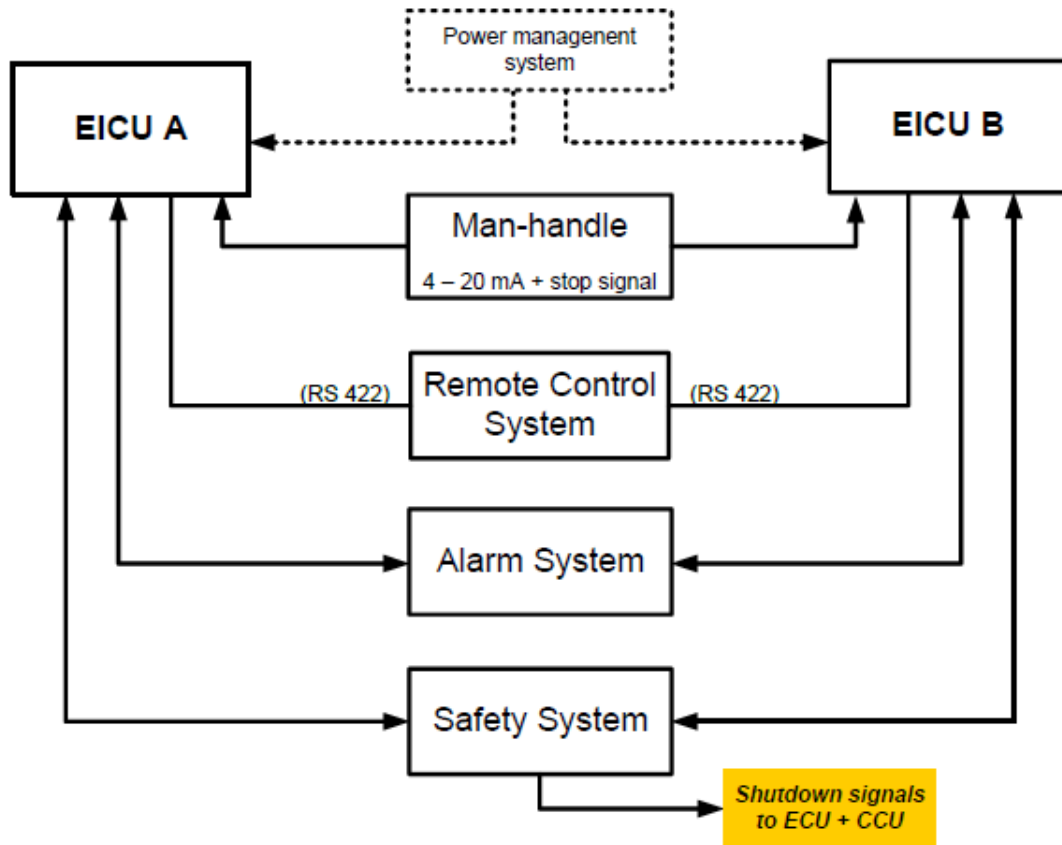
A EICU é responsável pela interface entre os diversos sistemas externos que interagem com o sistema de controle do motor (Figura 7). Os consoles de comando no passadiço e na praça de máquinas estão entre esses sistemas. A interface é necessária para que não haja conflito entre as informações oriundas de locais diferentes, e para que essas informações sejam devidamente interpretadas pelo controle. Além disso, as informações também precisam ser traduzidas para que os sistemas externos possam entender corretamente o que está ocorrendo. São ao todo duas placas controladoras, EICUA e EICUB, totalmente redundantes. A EICUA é, por definição, a dominante, permanecendo nessa condição indefinidamente, até que ocorra uma falha.

Uma das formas de se entender melhor como funciona a EICU é observa a função dos “Speed Modifiers” (Modificadores de Velocidade). Os Speed Modifiers são sinais de sistemas externos recebidos por meio da EICU. Esses sinais informam ao sistema de

controle para modificar o modo de gerenciamento da rotação do motor. Esses modificadores são gerenciados pela EICU, e não são aplicáveis caso o motor seja operado no comando local. Os Modificadores de Velocidade e sua descrição podem ser observados na Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

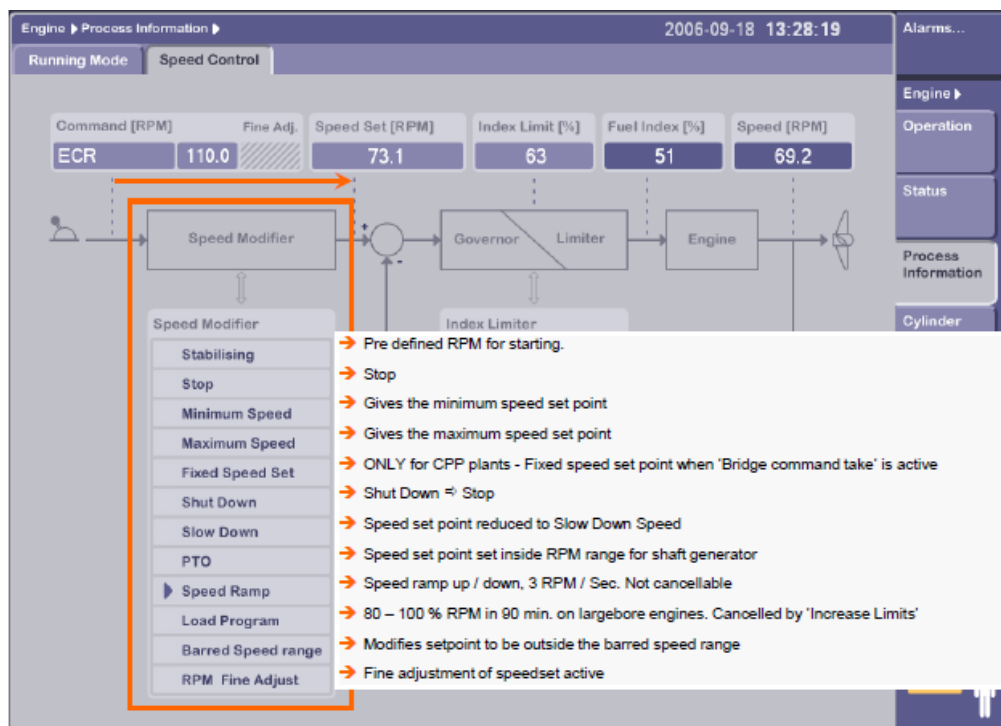
Figura 8.

Figura 7 - Sistemas que interagem com a EICU



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Figura 8 - Modificadores de Velocidade



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Pode-se observar que todos esses dados na Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Figura 8 são oriundos de agentes externos, como por exemplo, o comando “Stop”, que é o comando de parada fornecido pela alavanca de combustível, via EICU. As velocidades mínima e máxima do motor são determinadas no console do CCM, e transmitidas ao sistema de controle via EICU, além de outras condições que são inseridas pelo usuário por meio do painel de operações, passam pela EICU e são enviadas à ECU.

3.4.2 Unidade de Controle Auxiliar (ACU)

A ACU é responsável pelo controle de alguns componentes dos sistemas auxiliares do motor, são eles: as bombas hidráulicas elétricas e as bombas hidráulicas acopladas ao motor, ambas componentes do HPS, e os sopradores auxiliares.

Ao todo são três ACUs por motor, ACU1, ACU2 e ACU3, não redundantes entre si. As ACUs 1 e 2 são responsáveis pelo controle das bombas hidráulicas elétricas 1 e 2 e dos sopradores auxiliares 1 e 2. As bombas acopladas variam de três a cinco unidades por motor. Caso haja 3 unidades, cada uma é controlada por uma ACU. Se houver mais bombas acopladas, o controle é realizado pelas ECUA e ECUB para as bombas 4 e 5, respectivamente, fato este que torna essas placas não totalmente redundantes entre si. Outro

fator a ser considerado é que as bombas acopladas são de débito variável, que é controlado pela ACU correspondente. Já as bombas 4 e 5, acionadas pelas ECUs 1 e 2 são de débito constante e operam em 0% ou 100% de capacidade. A relação de equipamentos e a respectiva ACU é mostrada na Tabela 1.

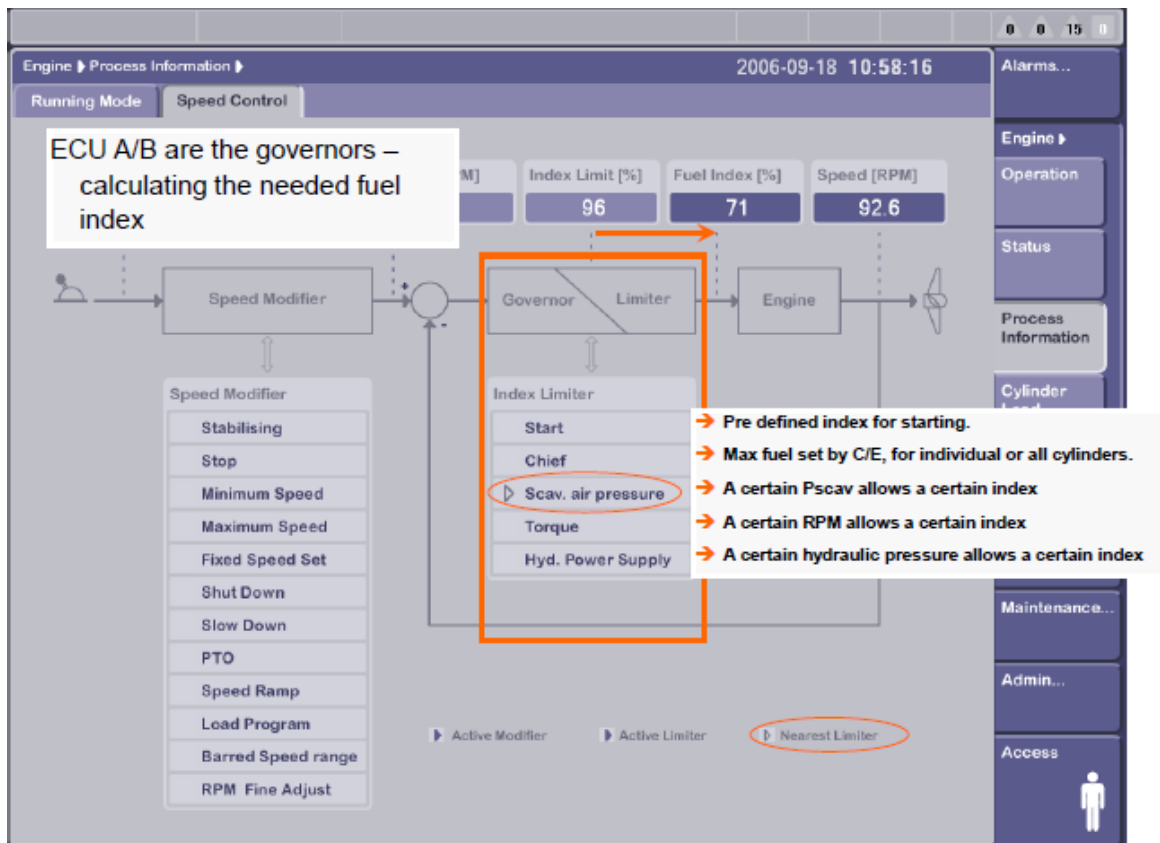
Tabela 1 - ACUs x Equipamentos

	Bombas hidráulicas					Sopradores Auxiliares						
	Acopladas					Elétricas						
	1	2	3	4	5	1	2	1	2	3	4	5
ACU1	X					X		X			X	
ACU2		X					X		X			X
ACU3			X							X		
ECUA				X								
ECUB					X							

3.4.3 Unidade de Controle do Motor (ECU)

O sistema de controle do motor conta com duas ECUs redundantes entre si. A ECUA opera em tempo integral como a principal, com a ECUB executando as mesmas tarefas e pronta para assumir o controle do sistema em caso de falha. Pode-se dizer que a ECU é o cérebro do motor, sendo responsável pela função antes exercida pelo regulador de velocidade. Nela são realizados todos os cálculos necessários para o ajuste da quantidade de combustível injetado (index) e dos tempos de injeção e de atuação das válvulas de descarga. Essas operações são realizadas de acordo com os dados recebidos de outras placas controladoras e sensores. A ECU atua, assim como o regulador de velocidade, de forma a proteger o motor contra sobrecargas, limitando o index das bombas injetoras de acordo com as exigências de carga máxima imposta pelos limitadores de velocidade, como mostra a Figura 9. Dessa forma, a ECU envia os sinais de controle para as placas controladoras dos cilindros (CCUs), responsáveis pela transmissão desses sinais às bombas injetoras e válvulas de descarga e para as controladoras auxiliares (ACUs), que regulam a pressão no sistema hidráulico do motor. As ECUs ainda recebem o sinal do sistema Tacho para que executem corretamente a função de regulador de velocidade.

Figura 9 - Atuação da ECU como regulador de velocidade



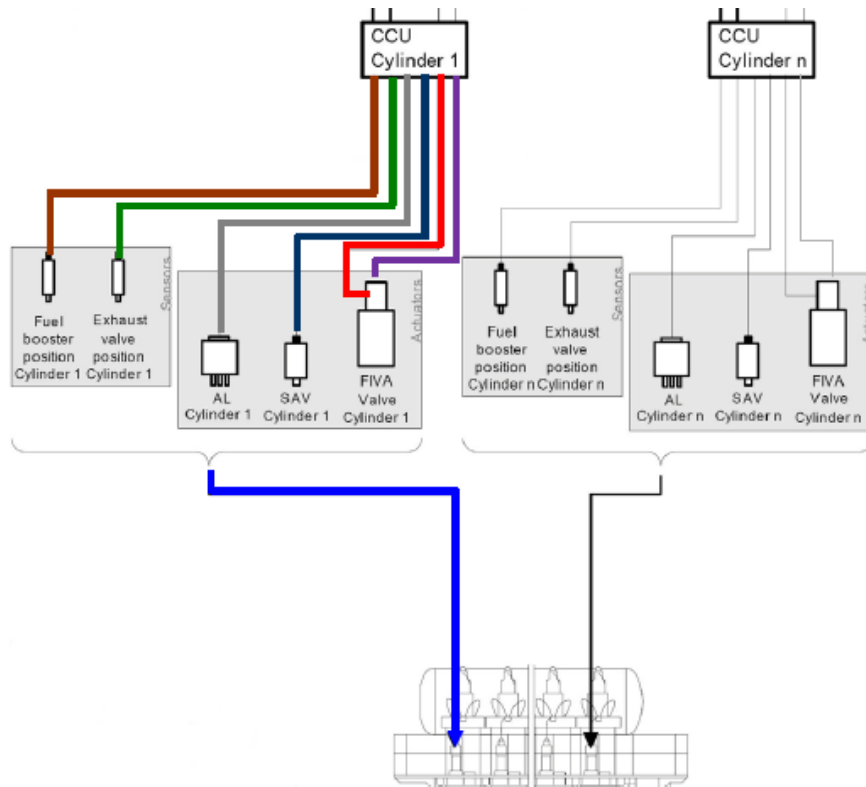
Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

3.4.4 Unidade de Controle do Cilindro (CCU)

As CCUs ocorrem em número igual ao de cilindros no motor. Cada uma delas é responsável por transmitir os sinais de comando à sua HCU correspondente. É a CCU que aciona, por exemplo, a solenoide do lubrificador do cilindro e a FIVA. A CCU também é responsável por receber os sinais dos sensores de posição instalados na válvula de descarga e na bomba injetora, e retransmiti-los para a ECU. Os elementos da HCU comandados pela CCU e aqueles dos quais ela recebe sinais são mostrados na Figura 10.

As CCUs também são responsáveis, durante a partida do motor, pelo acionamento das válvulas piloto que comandam a abertura das válvulas de ar de partida. Nos motores eletrônicos o distribuidor de ar de partida deixou de existir e foi substituído por um conjunto de válvulas solenoides, uma para cada cilindro. Essas solenoides são acionadas pelas CCUs, que utilizando as informações de posição do eixo de manivelas recebidas do sistema Tacho, comandam a abertura das válvulas correspondentes de ar de partida no momento correto.

Figura 10 - Elementos comandados pela CCU



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

3.5 Painel de Operação Principal (MOP)

No centro de controle e/ou na praça de máquinas ficam localizadas duas telas de operação para controle do motor principal, denominados MOP (*Main Operating Panel*). As telas são redundantes, ou seja, o MOPA funciona como o principal e o MOPB como reserva. Tanto o MOPA quanto MOPB podem ser utilizados da mesma forma para interagir com o sistema de controle o tempo inteiro.

No MOP o usuário pode comandar o motor (partida, parada, balanceamento), ajustar parâmetros (pressões de compressão e combustão, qualidade do combustível, lubrificação das camisas). O sistema é distribuído em 5 abas principais de navegação:

- Alarms;
- Engine;
- Auxiliaries;
- Maintenance;
- Admin.

Na aba “Alarms” o operador pode consultar o histórico de alarmes desde o início do funcionamento do motor, pode checar a lista com todos os possíveis alarmes do sistema e inibir algum desses alarmes. Além disso, ao selecionar um determinado alarme, o sistema mostra suas possíveis causas, efeitos e as possíveis soluções, contribuindo de forma bastante positiva na busca e resolução de falhas.

Na aba “Engine”, dividida em outras 5 abas, é onde são realizadas as principais ações de controle e regulagem do motor. Aí são efetuados os comandos de partida, parada, giro lento, e vários ajustes, como o modo de controle do motor (econômico ou emissões) e a checagem da rotação, do passo do hélice e o index das bombas injetoras. Aqui também são realizados os ajustes na qualidade do combustível que está sendo fornecido ao motor, no limite de carga imposto pelo Chefe de Máquinas e nas pressões e carga nos cilindros, de forma a regular o seu funcionamento.

Em “Auxiliaries”, o usuário pode acompanhar a operação dos sopradores de ar de lavagem, do sistema hidráulico e da lubrificação dos cilindros. São 3 abas diferentes, uma para cada sistema auxiliar, onde é possível, por exemplo, regular a quantidade de óleo injetada em cada atuação do lubrificador de camisa, mudar a operação dos sopradores de automático para manual, ou modificar o “setpoint” do sistema hidráulico.

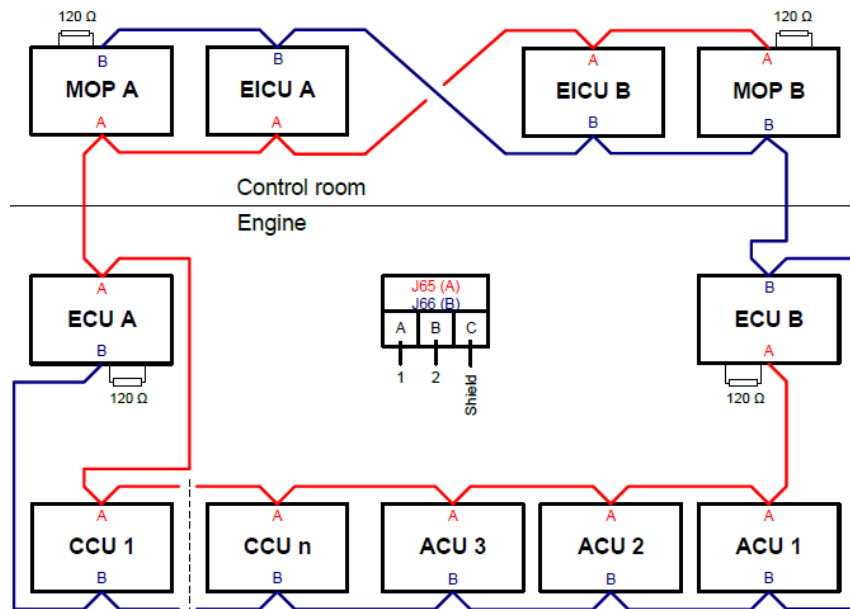
Ao selecionar “Maintenance”, o operador poderá realizar checagem dos sinais de entrada e saída em todas as MPCs, e inclusive inibir o sinal de algum sensor defeituoso. Aqui é possível também averiguar o estado da rede de comunicação e realizar testes nas UHCs, HPS e no sistema Tacho. Ainda há uma aba que realiza o registro dos sinais elétricos de comando enviados e os recebidos dos sensores nas HCUs e na HPS sempre que ocorre alguma falha no motor, possibilitando averiguação futura na análise do defeito.

Por último, a aba Admin é utilizada para ajuste de hora e verificação de alterações no programa do MOP e a sua versão atual.

3.6 Rede de dados

Interligando as MPCs e o MOP há duas redes (A e B) redundantes de dados com arquitetura em anel, como mostra a Figura 11. Pode-se notar que há resistores de 120Ω em certos pontos da rede, eles servem como marcadores das extremidades, e são a fonte mais comum de falha nessas redes, sendo os primeiros itens verificados em caso de anormalidade na rede.

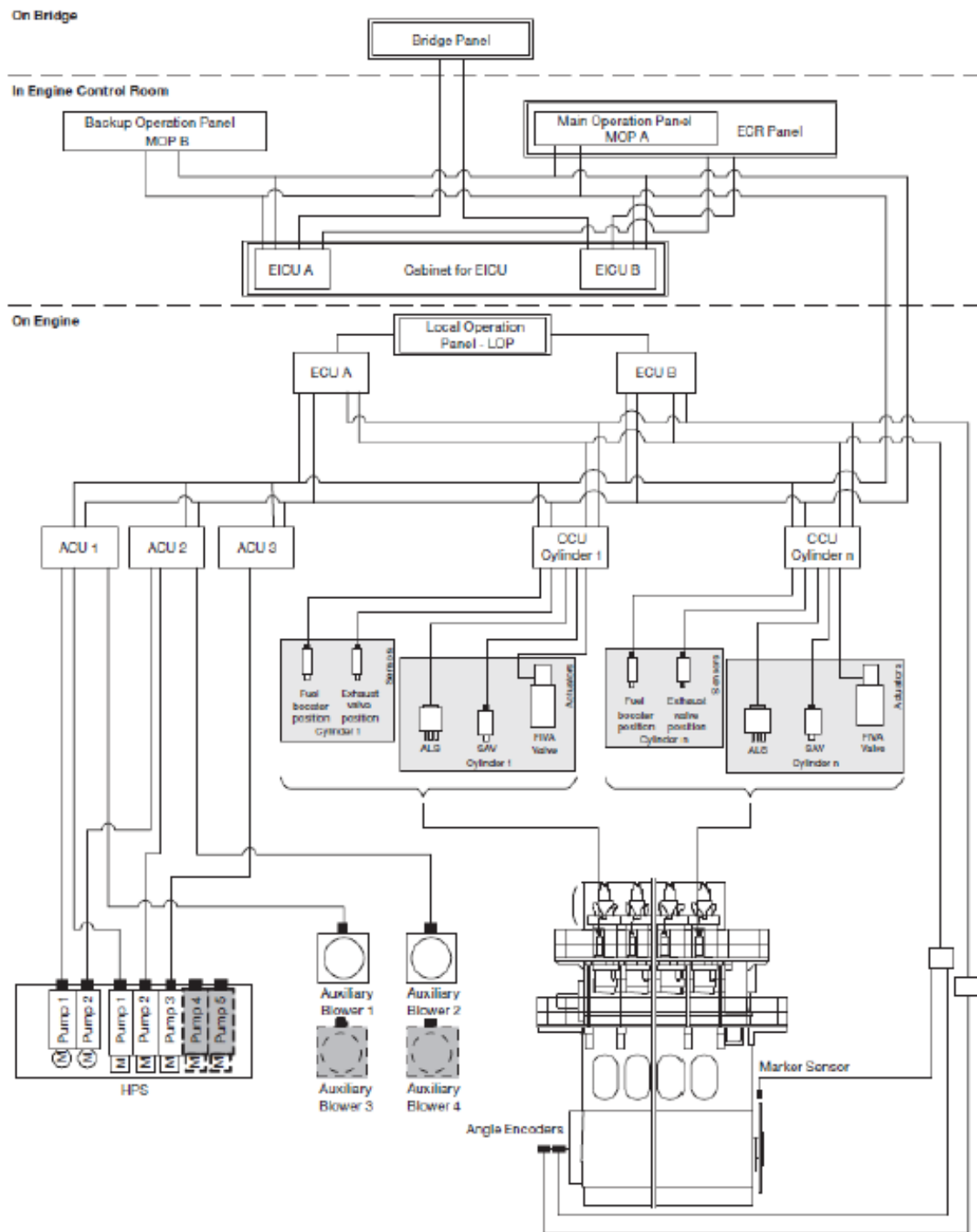
Figura 11 - Rede de dados do sistema de controle



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Depois de descritos todos os elementos do sistema de controle, podemos ter agora uma visão geral, mostrado na Figura 12. Percebem-se as MPCs e os MOPs interligados pelas duas redes de dados, assim como o Painel de Operação Local (LOP) conectado exclusivamente às ECUs e os consoles do centro de controle de máquinas e do passadiço se interligando ao sistema por meio das EICUs. Além disso, são mostrados também os amplificadores do sistema Tacho, os quais se comunicam com as ECUs e CCUs. Mais abaixo na figura também estão presentes os sistema auxiliares comandados pelas ACUs e os elementos das HCUs comandados pelas CCUs.

Figura 12 - Visão geral do sistema de controle



Fonte: www.marine.man.eu

4 FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DESEMPENHO

Durante toda a vida útil do motor é natural que haja perdas graduais no seu desempenho. Essas perdas, a maioria reversível após manutenção, podem ter diversas origens, como:

- Desgaste e carbonização de válvulas de descarga, camisas, êmbolos, anéis de seguimento e injetores de combustível;
- Variação na qualidade do óleo combustível pesado, que depende do local de produção;
- Surgimento de folgas;
- Carbonização do turbo-compressor;
- Incrustação do resfriador de ar de lavagem, entre outros.

Algumas quedas de desempenho podem ter seus sintomas detectados e as causas descobertas apenas pela checagem de pressões e temperaturas nos manômetros e termômetros instalados por todo o motor. No entanto, o meio mais efetivo de se checar anormalidades na qualidade da queima nos cilindros de motores diesel marítimos continua sendo por meio da análise das pressões de compressão e combustão do motor.

Em motores tradicionais o operador mede as pressões de compressão e combustão por meio de um instrumento mecânico ou eletromecânico conectado ao rubinete durante o funcionamento do motor. Os aparelhos de medição mais recentes são transdutores que medem a pressão na câmara de combustão durante o ciclo de funcionamento do motor, e, ao final das medições, transforma os sinais de pressão em gráficos para comparação e ajuste.

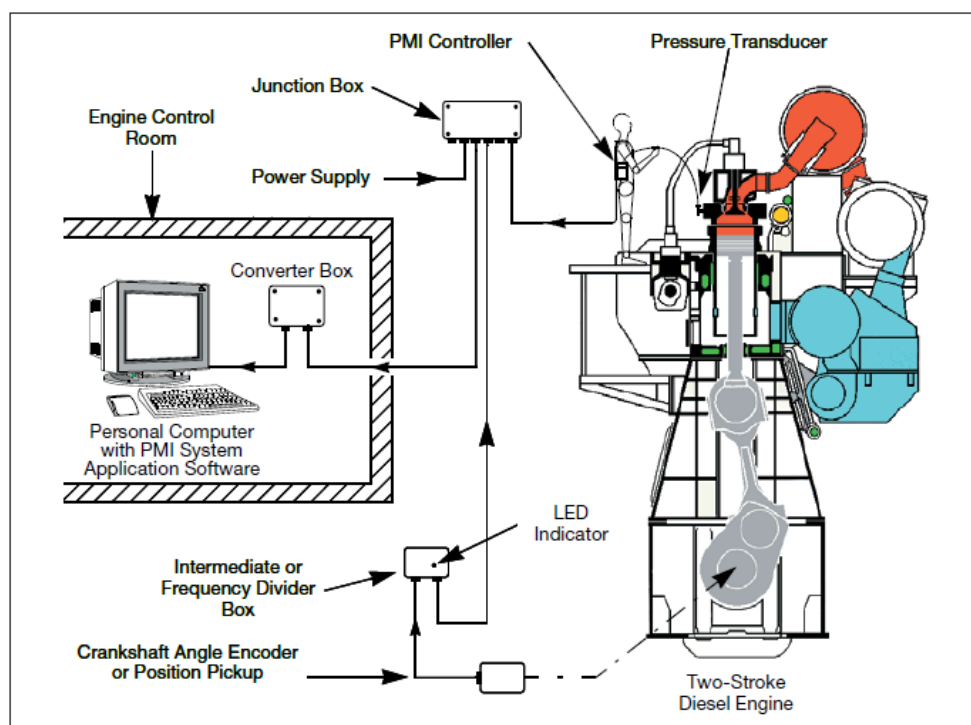
Nos motores com controle eletrônico a técnica de medição das pressões por meio do rubinete ainda é utilizada, porém, se beneficia de alguns recursos tecnológicos para aperfeiçoar o diagnóstico. Nos motores MAN B&W são utilizadas duas ferramentas, a primeira delas serve para a aquisição das pressões e construção dos gráficos e é chamada Sistema PMI (*Pressure Measurement Instrumentation*). A segunda ferramenta é um programa de diagnóstico denominado CoCoS – EDS (*Computer Controlled Surveillance – Engine Diagnostics System*) Ambos serão melhor explanados a seguir.

4.1 Sistema PMI

O Sistema de Instrumentação para Medição de Pressão (Sistema PMI), mostrado na Figura 13 utiliza um simples computador pessoal para coletar, analisar, armazenar e exibir os

dados de pressão da câmara de combustão do motor. O operador inicia a medição conectando o sensor de pressão aos rubinetes, iniciando pelo cilindro a sua escolha. O sensor é um transdutor de pressão piezoelétrico de alto desempenho conectado a uma caixa de controle denominada Controlador PMI, que armazena dos dados durante a medição. O Controlador PMI por sua vez, transfere esses dados à caixa de junção (“Junction Box”), que os envia ao computador pessoal no centro de controle. A caixa de junção ainda recebe a fonte de alimentação do sistema e o sinal de sincronismo do “Angle Encoder”, responsável por transmitir ao Sistema PMI a posição correta do eixo de manivelas. Esses dados de posição do eixo de manivelas são essenciais para que o sistema identifique automaticamente em qual cilindro está sendo realizada a medição, ou seja, o operador pode realizar as medições sem se importar com a ordem dos cilindros. Além disso, a precisão do Angle Encoder é indispensável para que, ao gerar os gráficos de pressões, o ângulo do eixo de manivelas esteja devidamente identificado e o tempo de queima seja mostrado com a máxima precisão nos gráficos.

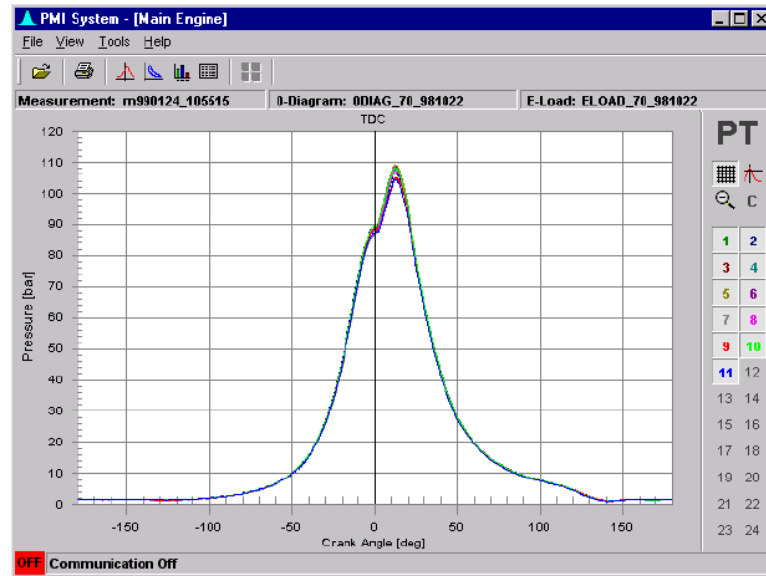
Figura 13 - Sistema PMI



Fonte: MAN B&W PMI System Pressure Analyser User's Guide

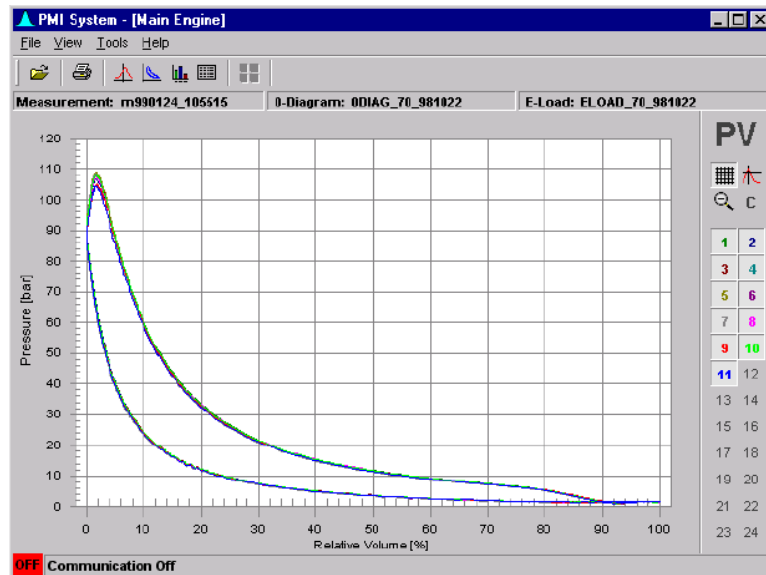
No computador pessoal as informações são processadas por um aplicativo do Sistema PMI, que armazena, realiza os cálculos e gera os gráficos, diagramas e tabelas para o usuário. Os gráficos gerados são o PT (Figura 14) e PV (Figura 15).

Figura 14 - Gráfico PT gerado no PMI



Fonte: MAN B&W PMI System Pressure Analyser User's Guide

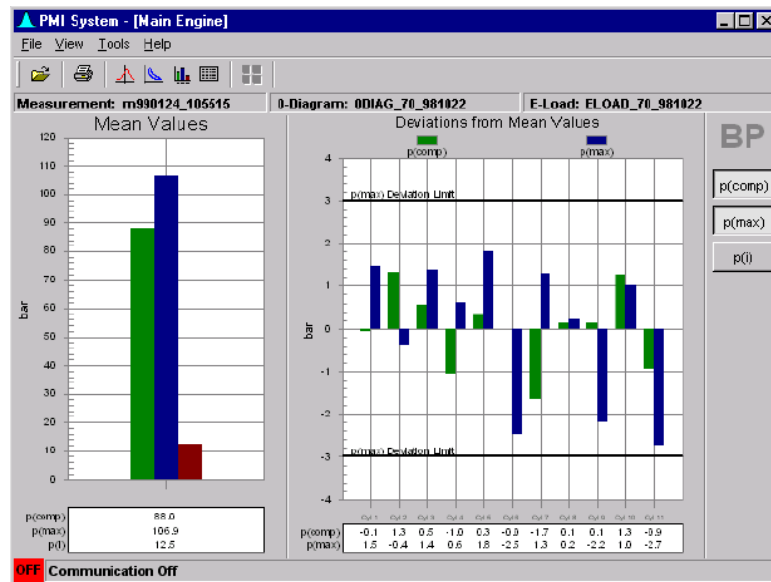
Figura 15 - Gráfico PV gerado no PMI



Fonte: MAN B&W PMI System Pressure Analyser User's Guide

Já os diagramas permitem ao usuário comparar de forma mais prática as diferenças das pressões de compressão, média indicada e de combustão existentes entre os cilindros do motor. Os valores são centrados na média aritmética das medições e as barras indicam o desvio, em bar, em torno dessa média, como mostra a Figura 16. Além disso, o diagrama contém os limites máximos do desvio para cada variável, que são definidos previamente pelo fabricante do motor ou pelo usuário.

Figura 16 - Diagrama comparativo das pressões no PMI



Fonte: MAN B&W PMI System Pressure Analyser User's Guide

Os desvios que avançam acima do limite são um indicativo da necessidade de ajustes nos cilindros. Esse ajuste geralmente pode ser realizado via MOP, com os parâmetros de ajuste sendo fornecidos pela ferramenta CoCoS – EDS, que será descrita na sessão seguinte.

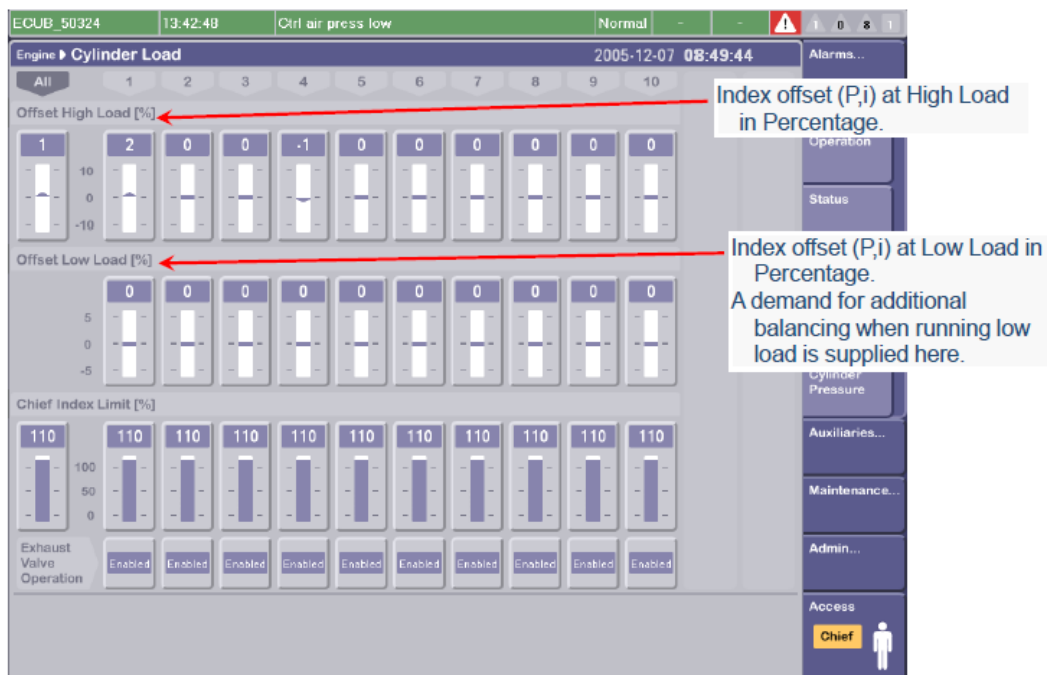
4.2 CoCoS - EDS

O CoCoS – EDS (Sistema de Vigilância Controlada por Computador – Diagnóstico do Motor) é um aplicativo de monitoramento e diagnóstico do motor. Ele permite o monitoramento, armazenamento, análise e geração de um diagnóstico bastante completo sobre o motor, com indicação de causas, efeitos e possíveis soluções para os possíveis problemas.

Ao realizar a medição das pressões com o Sistema PMI os dados salvos no computador ficam disponíveis para que o usuário possa exportá-los para o CoCoS-EDS e realizar o diagnóstico. Ao importar as informações do PMI, o CoCos-EDS gera automaticamente um relatório que contém também outros dados operacionais fornecidos pelo sistema de monitoramento e alarmes do motor. Aí estão inclusos temperaturas e pressões do óleo lubrificante, da água de arrefecimento das camisas, do ar de lavagem, da turbina, dos gases de descarga, além de informações sobre os sensores de posição das válvulas de descarga e bomba injetora, entre outros. Ou seja, o relatório gerado contém informações muito precisas sobre o estado geral do motor e o diagnóstico vai muito além da checagem das pressões na câmara de combustão.

De posse do relatório é possível corrigir a qualidade do óleo combustível informada no MOP por meio da comparação da carga calculada pelo sistema de controle e da carga real, obtida no relatório. Após a correção da qualidade do óleo combustível, o operador poderá regular o motor seguindo os passos sugeridos pelo diagnóstico, realizando as alterações no index, pressão máxima e taxa de compressão no cilindro e no tempo de abertura das válvulas de descarga. Todas essas alterações são realizadas via MOP, como mostrado na Figura 17 e Figura 18.

Figura 17 - Ajuste do index nos cilindros



Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

Figura 18 - Ajuste da pressão nos cilindros

The screenshot displays the 'Engine Cylinder Pressure' configuration screen. At the top, it shows 'ECUB: 50324', '13:42:48', 'Ctrl air press low', 'Normal', and a warning icon. The date '2005-12-07' is also visible. The interface is divided into three main sections for adjusting 10 cylinders (labeled 1-10):

- Maximum Cylinder Pressure Offset [Bar]:** This section features a blue arrow pointing to the left. The first slider is set to 0, while others are at their maximum range (indicated by '...').
- Compression Ratio Offset [-]:** This section features a green arrow pointing to the left. The first slider is set to 0.3, while others are at their maximum range (indicated by '...').
- Exhaust Valve Open Timing Offset [DEG]:** This section features a blue arrow pointing to the left. The first slider is set to 0.0, while others are at their maximum range (indicated by '...').

On the right side, there is a vertical menu with buttons for 'Operation', 'Status', 'Process information', 'Auxiliaries...', 'Maintenance...', 'Admin...', and 'Access'. The 'Access' button shows a 'Chief' user icon.

Two callout boxes provide additional information:

- The top callout states: "Timing of fuel injection (corresponding to VIT adjustment on the MC engine)." with an arrow pointing to the first slider in the Maximum Cylinder Pressure Offset section.
- The middle callout states: "Tuning of P,comp is made by adding an offset to the Compression Ratio here" with an arrow pointing to the first slider in the Compression Ratio Offset section.

Fonte: MAN Diesel PrimeServ Academy

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizando os motores propulsores de dois tempos MAN B&W como base, este trabalho buscou mostrar as principais diferenças entre motores mecânicos e motores com comando eletrônico, enfatizando as modificações e os avanços alcançados neste último.

Foram descritas as principais modificações e os equipamentos introduzidos para que os motores com comando eletrônico fossem capazes de alcançar padrões de desempenho mais elevados, compatíveis com as novas exigências ambientais e com maior economia de combustível. Além disso, foram mostradas as possibilidades de controle, supervisão, diagnóstico e de regulagem, imprescindíveis para que se mantenha o desempenho do equipamento dentro de níveis ótimos de operação pelo maior tempo possível. Cabe destacar que tal nível de flexibilidade de controle era intangível nos motores mecânicos.

Pôde ser observado também o grau de importância que a eletrônica passou a exercer no funcionamento desses motores, e o leque de possibilidades que se abriu com a sua introdução. Possibilidades essas alcançadas devido ao nível de controle extremamente apurado e flexível que foi adicionado ao motor pela retirada do eixo de cames e introdução das placas controladoras.

Com esse maior poder de controle e ajuste, o comando eletrônico de injeção se mostra capazes de manter os motores de dois tempos a combustão ainda por muito tempo como o principal meio de propulsão de navios mercantes, capazes de cumprir as rigorosas metas de redução de emissões sem perder o compromisso com a tão desejada economia de combustível.

REFERÊNCIAS

10 steps for converting MAN MC Series mechanically controlled engine into MAN ME electronically controlled engine. Disponível em: <https://www.marineinsight.com/main-engine/10-steps-for-converting-a-conventional-marine-propulsion-engine-to-an-intelligent-electronic-controlled-engine/>. Acesso em: 26 jun. de 2019

ARAÚJO, Glauber Damasceno Klinger Vieira. **A injeção eletrônica aplicada a motores diesel.** Rio de Janeiro, 2016. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro, CIAGA, 2016. Disponível em: <http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000017/000017f0.pdf>

Intelligent Engines – The New Generation Machines. Disponível em: <https://www.marineinsight.com/main-engine/intelligent-engines-the-new-generation-machines/>. Acesso em: 26 de jun. de 2019

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

MAN DIESEL. **CoCoS EDS User’s Guide**

MAN DIESEL. **Off-line PMI System Pressure Analyser User’s Guide**

MAN DIESEL PRIMESERV ACADEMY. **Apostila do curso de motores dois tempos MAN B&W**

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: 26 de jun. 2019.

The Computer Controlled Electronic Engine. Disponível em: http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/Other_info/electronic_engine.htm. Acesso em: 26 jun. de 2019.

VIOL, Charlles Sandro Antonio. **Controle eletrônico para motores de dois tempos.** Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro, CIAGA, Rio de Janeiro, 2016. 40p.