

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

SISTEMA DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES

JOBSON BRUNO DE LIMA JUNIOR

RIO DE JANEIRO

2015

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

SISTEMA DE PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES

JOBSON BRUNO DE LIMA JUNIOR

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquina (APMA) e parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78

.
Orientador: Mestre Eng. Paulo Pinto

RIO DE JANEIRO

2015

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

AVALIAÇÃO

Monografia apresentada 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: Mestre Eng. Paulo Pinto

Assinatura da Orientador

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pelo apoio, carinho, compreensão ao tempo ausente de casa, para a realização de mais este importante passo de minha carreira.

DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia aos meus
familiares e professores

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo abordar o sistema de propulsão diesel elétrica nas embarcações. Inicialmente buscou-se detalhar o referido sistema, o resumo histórico, os diferentes tipos de especificações, a comparação entre propulsão diesel elétrica e mecânica, os aspectos da escolha do arranjo e as principais vantagens da propulsão diesel elétrica. Em seguida escolheu-se o modelo de propulsão em corrente alternada AZIPOD, destacando as suas principais vantagens, especificações, potências, componentes e as condições recomendadas para o ambiente de operação. O estudo conclui que os benefícios trazidos pelo sistema de propulsão diesel elétrica são a melhoria do ciclo de custos através da redução de consumo de combustível e de manutenção, a reduzida vulnerabilidade a falha única, menor uso de espaço e melhor uso de carga na embarcação, graças à maior flexibilidade na disposição dos elementos do maquinário; sendo que os propulsores podem ser localizados independentemente dos movimentadores primários, já que eles recebem a potência por cabeamento; a redução do ruído e da vibração a bordo, gerados pelos drives de velocidades variáveis dos motores de propulsão.

Palavras-chaves: Embarcações Marítimas. Propulsão diesel elétrica. *Offshore*.

ABSTRACT

This study aims to address the propulsion system in diesel electric boats. Initially we tried to detail the system, the short history, the different types of specifications, the comparison between electrical and mechanical propulsion, the issues of choice and arrangement of the main advantages of electric propulsion. Then chosen to be the model of propulsion in AC AZIPOD, highlighting their main advantages, specifications, power, components and conditions recommended for the environment of operation. The study concludes that the benefits brought by the electric propulsion system are the improvement of cycle costs by reducing fuel consumption and maintenance, reduced vulnerability to a single failure, lower use of space and better use of cargo on the vessel, through greater flexibility in the arrangement of elements of the machinery; Sedo propellants that may be located independently of movements primary, since they receive the power for cabling, reducing noise and vibration on board, generated by variable speed drives of engines propulsion.

Keywords: Vessels. Diesel Electric propulsion. Offshore.

LISTA DE SIGLAS

CLP – Controladores Lógico-programáveis

EAM - Embarcações de Apoio Marítimo

MCA - Motor de combustão auxiliar

MCP – Motor de combustão principal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema SCHOTTEL	16
Figura 2 – Embarcação de Apoio Marítimo (EAM).....	17
Figura 3 - Perfil do Ferry (BTS).....	19
Figura 4 – Motores de propulsão	19
Figura 5 - PODS	20
Figura 6 – Desenho do POD.....	22
Figura 7 – Planta elétrica	25
Figura 8 – Diagrama de QEEP	26
Figura 9 - Diagrama com filtros harmônicos.....	27
Figura 10- Sistemas auxiliares.....	28
Figura 11- Sistema de propulsão elétrica	29
Figura 12 – Sistema AZIPOD	39
Figura 13 – Propulsão AZIPOD dupla	40
Figura 14 – Propulsão CRP	41
Figura 15 – Propulsão AZIPOD compacta.....	42
Figura 16 – Faixa de potência e RPM	43
Figura 17 – Unidades HPU E OTU	44
Figura 18 – Unidades TRU, CAU, STU e AZU.....	45
Figura 19 – Dimensões do CAU	46

SUMÁRIO

1.	<u>INTRODUÇÃO</u>	11
2.	<u>PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA EM EMBARCACÕES</u>	13
2.1	<u>Resumo histórico</u>	13
2.2	<u>Propulsão em corrente alternada em embarcação off-shore</u>	15
2.2.1	<u>Propulsão Schottel</u>	15
2.3	<u>Propulsão Diesel elétrica com retificação e inversão</u>	17
2.4	<u>Propulsão Diesel elétrica em corrente alternada</u>	23
2.5	<u>Comparação entre propulsão diesel elétrica e propulsão mecânica</u>	27
2.6	<u>Aspectos na escolha do arranjo de propulsão diesel elétrica</u>	30
2.7	<u>Principais Vantagens da Propulsão Diesel Elétrica</u>	31
2.7.1	<u>Redução do Consumo de Combustível</u>	31
2.7.2	<u>Redução da Tripulação</u>	32
2.7.3	<u>Flexibilidade do Projeto</u>	32
2.7.4	<u>Aumento da Capacidade de Sobrevivência do Navio</u>	32
2.7.5	<u>Aumento da Vida Útil do Navio</u>	33
2.7.6	<u>Redução dos Custos de Manutenção</u>	34
2.7.7	<u>Redução da Emissão de Poluentes</u>	34
2.7.8	<u>Redução da Assinatura Acústica</u>	35
3.	<u>PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA MEP NO POD (AZIPOD®)</u>	37
3.1	<u>Propulsão AZIPOD®</u>	37
3.2	<u>Vantagens Principais da Propulsão AZIPOD®</u>	37
3.3	<u>Sistema Elétrico do Navio e a Propulsão Azipod®</u>	38
3.3.1	<u>Aspectos Ambientais</u>	38
3.3.2	<u>Propulsão AZIPOD®</u>	39
3.3.3	<u>Empregos</u>	40
3.3.4	<u>Propulsão AZIPOD® simples e dupla</u>	40
3.3.5	<u>Propulsão CRP AZIPOD®</u>	41
3.3.6	<u>Propulsão AZIPOD® Compacta</u>	42
3.4	<u>Potências</u>	42
3.5	<u>Componentes</u>	43

3.5.1	<u>Unidades principais</u>	43
3.5.2	<u>Dimensões principais</u>	46
3.5.3	<u>Massas das unidades principais</u>	47
3.6	<u>Condições recomendadas para o ambiente de operação</u>	47
3.6.1	<u>Unidades AZIPOD®</u>	47
3.6.2	<u>Compartimento do AZIPOD®</u>	47
4.	<u>GERENCIAMENTO DE ENERGIA</u>	48
5.	<u>CONCLUSÃO</u>	50
	<u>REFERÊNCIAS</u>	51

1 INTRODUÇÃO

O tema que se busca abordar neste trabalho é o sistema de propulsão diesel elétrica de embarcações *Offshore*. Os navios são equipados com um sistema de posicionamento dinâmico de modo que sejam capazes de executar manobras como girar sobre o próprio eixo, deslocar lateralmente, além de ficar parado em relação a um ponto de referência sem necessitar o uso de cabos ou âncoras.

Para o funcionamento apropriado deste sistema de posicionamento dinâmico, muitas podem ser as combinações de propulsores, entre propulsores principais e impelidores laterais ("*thrusters*"). Para que este sistema funcione a embarcação deve estar adequadamente equipada com um sistema de propulsão que lhe permita executar todas as manobras desejadas. O sistema propulsivo é composto de propulsores principais e de propulsores auxiliares.

Os sistemas de navegação tem se modernizado. Desde os antigos barcos à vela até as unidades atuais, a tecnologia tem auxiliado significativamente aos sistemas utilizados nas embarcações.

O navio de superfície do Século XXI deverá ser projetado de forma a conciliar diversos requisitos como: grande flexibilidade operativa e robustez. Aliado a estes fatores o aspecto econômico envolvendo os custos de projeto, construção, manutenção e operativos, ao longo da vida útil do meio, são extremamente importantes e decisivos, pois devem ser os menores possíveis.

Neste contexto, um dos aspectos mais significativos no projeto de um novo navio é o método de propulsão que será empregado. A propulsão convencional mecânica está perdendo mercado em virtude da história de sucessos da Propulsão Diesel Elétrica.

O sucesso obtido recentemente nas tentativas de aumentar a densidade de potência e reduzir o volume e o peso dos motores elétricos permitirá, em curto prazo, que navios de pequeno porte possam se beneficiar das vantagens associadas à Propulsão Diesel Elétrica. Os benefícios alcançados com esta forma de acionamento farão com que os mares sejam definitivamente conquistados pela energia elétrica.

Passada a fase de desenvolvimento e diluição de riscos, a Propulsão Diesel Elétrica estará pronta para embarcar nos navios do novo milênio. Sua utilização reduzirá ou eliminará completamente as engrenagens redutoras, permitirá grande flexibilidade na

disposição dos equipamentos a bordo, fará com que o motor primário opere frequentemente na faixa de ótimo desempenho, reduzirá o consumo de combustível, a manutenção e a emissão de poluentes.

Importante ressaltar que a energia elétrica possui como característica de maior importância a versatilidade de poder ser convertida para corrente contínua (CC) ou alternada (CA), inclusive com diferentes níveis de tensão e de frequência. Esta capacidade de conversão, propiciada pela Eletrônica de Potência, é fundamental para o crescimento das já numerosas aplicações da eletricidade em sistemas e equipamentos a bordo de navios.

2 PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA EM EMBARCAÇÕES

2.1 Resumo histórico

A propulsão Diesel elétrica de embarcações nasceu no início do século XX acompanhando o desenvolvimento dos submarinos da época. A solução para aquelas embarcações de então ainda está em uso, no que hoje é chamado de submarino convencional

Segundo Doyle (1999), a utilização da propulsão elétrica também não é um conceito novo para a Marinha Americana (USN). Em 1913, a bordo do navio carvoeiro USS “Jupiter”, foi implementada uma instalação experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo.

O sistema de propulsão do USS “Jupiter” consistia de um turbo gerador em corrente alternada (CA) que alimentava dois motores de indução com rotor bobinado. O experimento obteve sucesso e o navio foi convertido em 1922, no primeiro navioaeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley”. O navio apresentou uma elevada robustez e permaneceu em plena capacidade operativa até 1942, quando foi afundado em combate (DOYLE, 1999, p. 78).

O sucesso obtido na utilização da propulsão Diesel elétrica e a percepção dos seus benefícios estimularam o grande esforço empregado para a construção de 50 navios com este tipo de propulsão, durante o período entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundiais. Entre estes navios estava o USS “New Mexico” com 30 MW de potência instalada, o segundo e o terceiro navioaeródromo da Marinha Americana, USS “Lexington” e USS “Saratoga”, com potência instalada de 135 MW (WHITMAN, 2001).

Conforme Doyle (1999), durante a Segunda Guerra Mundial, mais de 160 navios de escolta dotados de propulsão elétrica foram construídos para a Marinha Americana, utilizando turbo ou diesel geradores na faixa de 4,5 a 9,0 MW. Aproximadamente 500 navios de pequeno porte foram também equipados com sistemas de propulsão diesel elétrica em corrente contínua com potência instalada na faixa de 225 kW a 15 MW. É interessante destacar que a falta de capacitação técnica para a produção em larga escala de engrenagens foi um dos motivos que também contribuíram para o significativo aumento do número de navios com propulsão diesel elétrica durante o período bélico.

Doyle (1999) prossegue afirmando que, por volta de 1940, os desenvolvimentos na tecnologia dos sistemas de engrenagens de dupla redução, para aplicações no setor naval e

militar, passaram a apresentar preços competitivos nos Estados Unidos. Aliado a este fator, e também a algumas desvantagens da propulsão elétrica existentes naquela época, como maior peso, maior volume e menor eficiência energética, a expansão do uso da propulsão diesel elétrica em larga escala foi drasticamente inibida, em detrimento da propulsão mecânica convencional. A mudança da preferência do tipo de propulsão a ser empregada em larga escala também foi influenciada pelas melhorias tecnológicas obtidas no setor de metalurgia e na manufatura de engrenagens redutoras, com peso e volume menores, e melhores resultados no desempenho acústico dos equipamentos.

Este panorama da situação persistiu até o início do século XXI, quando a capacidade de transmissão mecânica de energia atingiu seu limite tecnológico e de viabilidade econômica.

Segundo Arryngton (1998), durante as décadas de 1980 a 1990, os avanços tecnológicos, na área de Eletrônica de Potência, tornaram a transmissão elétrica de energia mais eficiente e compacta, e desta forma, possibilitou o retorno do emprego da propulsão diesel elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, tanque e numerosos transatlânticos.

Conforme esse autor, depois das crises do petróleo em 1974 e 1978, vários países se lançaram à prospecção de petróleo no leito dos oceanos. As “torres” de petróleo no mar até então eram aproximadamente do mesmo tamanho das torres de terra, poucas e plantadas em águas relativamente rasas. Após a década de 70 as plataformas marítimas de petróleo em alto mar proliferaram e hoje formam grandes campos de exploração, com plataformas flutuantes em regiões oceânicas afastadas da costa. Algumas operam em extensas lâminas de água onde, nas partes mais profundas, apenas veículos operados por controle remoto podem trabalhar. Algumas dessas plataformas são gigantescas ilhas de aço muitas milhas oceano adentro, variadas com propulsão própria. Naturalmente essas ilhas precisam ser mantidas, abastecidas e suas tripulações substituídas.

Existem embarcações que fazem o abastecimento das plataformas de petróleo, outras que manobram o seu fundeio, outras que as rebocam e mais uma grande gama de embarcações com finalidades específicas, todas voltadas para o apoio às plataformas de petróleo. O conjunto dessas embarcações atende pela denominação coletiva de embarcações de apoio marítimo (EAM).

Atualmente, as pesquisas para a definição das melhores alternativas de tecnologia envolvendo propulsão diesel elétrica estão em plena evolução. As pesquisas relativas aos motores de propulsão, para aplicação naval e militar, apresentam os seguintes requisitos essenciais: formato compacto, peso e volume reduzido, elevadas faixas de potência gerada

para valores específicos de torque, resistência ao choque, e baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética.

2.2 PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA MEP DENTRO DE EMBARCAÇÃO OFFSHORE.

2.2.1 Propulsão Schottel

A partir da década de 1970 o mercado para embarcações de apoio começou a crescer. Era preciso manobrar navios cada vez maiores nas águas restritas de um porto ou terminal, usando embarcações de apoio portuário. A partir das crises do petróleo e do fechamento do Canal de Suez surgiram os gigantescos navios tanque transportando petróleo do oriente médio para portos europeus e japoneses. A manobra desses grandes navios requeria embarcações melhores. Uma resposta da tecnologia daquela época, ilustrado na figura 16, foi o Sistema Schottel, dentre outras soluções.

Conforme Watson (1991), o Sistema *Schottel* consiste de hélices montadas em um conjunto que pode ser movimentado em azimute (conceirado). O MCP aciona o hélice e o sistema de governo movimenta, em azimute, o conjunto onde o hélice está montado. Ainda não era uma propulsão elétrica, mas já dispensava o leme.

O conjunto formado pelo propulsor e pelo sistema que o direciona em azimute é chamado de “POD” por muitos autores; outros chamam de “RABETA” em analogia com os propulsores das embarcações de recreio. A figura 1 a seguir ilustra o acionamento do hélice pelo MCP e o movimento azimutal pelo sistema de governo.

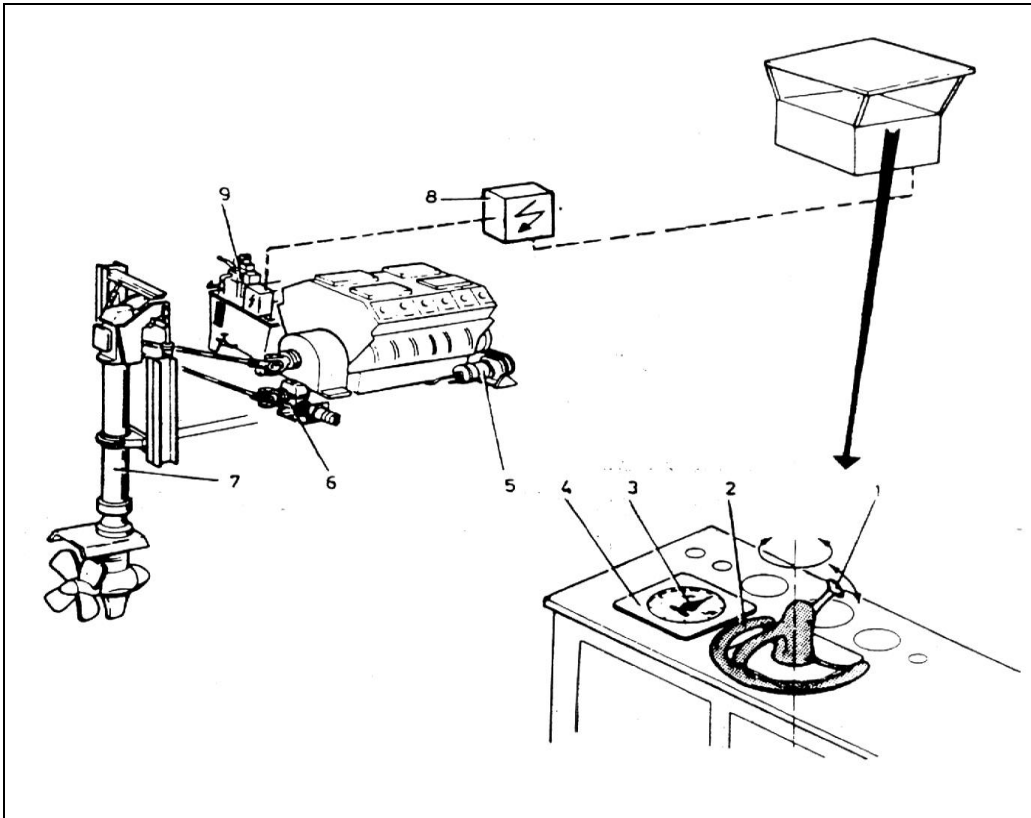


Figura 1 - MCP e sistema de governo no sistema Schottel. Os itens 1 até 4 são os controles colocados no passadiço; 5 é o MCP e acessórios; 7 é o POD; 6 é a unidade de força do sistema de governo; 8 e 9 controlam a transmissão de ordens.

Fonte: Freire (2004)

Na figura 1 pode-se observar que ainda existem dois semi-eixos entre o POD e o MCP mais a unidade de força do sistema de governo. Para embarcações como os tratores, com hélices propulsores na proa, o comprimento desses eixos não constitui problema.

Segundo Fragoso (2002), para as Embarcações de Apoio Marítimo (EAMs) com hélices na popa o alinhamento de eixos mais longos pode ser um grande problema. Isso se deve a posição do MCP, bem avante, com a finalidade de deixar a popa desobstruída para estivar a carga e para as fainas de transbordo e de reboque.

No final da década de 1970, no Brasil, a Bacia de Campos começou a ser explorada e hoje produz uma grande parte do consumo nacional. Cada uma das plataformas de petróleo em alto mar precisa de cerca de cinco embarcações de apoio marítimo para fornecer combustíveis, rancho, material para abertura dos poços e sua manutenção, substituir tripulações, reposicionar a plataforma, fazer socorro e salvamento, dentre outras fainas. As

embarcações de apoio portuário não se prestam para os serviços de apoio às plataformas, devido ao seu porte, capacidade de carga, etc.

As embarcações de apoio marítimo (EAM) que começam a surgir então têm quase o porte de alguns navios, mas têm quase os mesmos problemas da embarcação de apoio portuário, especialmente no que toca a capacidade de manobra. Por outro lado, as EAM exigem uma capacidade de carga que a embarcação de apoio portuário não tem, e nem precisa ter.



Figura 2 - Embarcação de apoio marítimo, EAM, também chamada de rebocador “off-shore”, em faina de abastecimento da plataforma.

Fonte: Freire (2004)

A figura 2 acima ilustra claramente a necessidade de espaço livre no convés da popa da EAM, para transporte de carga e para permitir a livre operação do guindaste da plataforma que movimentará a carga da EAM para a plataforma. Fica evidente também que a EAM precisa ter boa capacidade de manobra para não colidir com a plataforma durante a faina de reabastecimento. O sistema *Schottel* é uma solução para a capacidade de manobra, mas têm inconvenientes, como, por exemplo, eixos propulsores muito longos.

2.3 PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA COM RETIFICAÇÃO E INVERSÃO

Em vista dos problemas anteriormente expostos, a indústria naval projetou outra tecnologia mais aperfeiçoada para a propulsão diesel elétrica. Buscou-se então empregar a tecnologia usada em vários “*ferries-boat*”. Essa espécie de embarcação, pouco comum no Brasil, é usada para transportar veículos e pessoas, atravessando um curso de água ou mesmo o canal da mancha, o mar do norte ou o mar báltico.

As embarcações mais semelhantes aos “*ferries*” existentes na costa brasileira são as pequenas embarcações que atravessam alguns canais, rios ou baías, como o canal de Santos, o Rio Itajaí e os “*ferries*” que atravessam de Salvador para Itaparica, estes operados pela empresa “COMAB”. Um deles, fabricado na década de 1970 na Noruega, o “Baía de Todos os Santos” tem propulsão diesel elétrica.

Os ferries são embarcações peculiares. Assim como as barcas Rio – Niterói, dentre outras, os ferries não param. Atracam, abrem a rampa, ou rampas, saem os veículos e passageiros, entram outros veículos e passageiros, para então desatracar e fazer uma travessia curta, e reiniciar a mesma rotina.

O período de tempo que essas embarcações ficam atracadas não justifica parar e esfriar os motores da propulsão. Por outro lado, deixar grandes motores funcionando em baixas cargas significa carbonização excessiva e consumo inútil de combustível.

A solução elaborada foi a propulsão diesel elétrica com vários GEPs e PODs com capacidade azimutal. O “ferry” “Baía de Todos os Santos” tem dez MCPs, cada um acionando um GEP. Os grupos geradores, chamados MCAs nos demais navios, passam a ser chamados de MCPs nas embarcações com propulsão diesel elétrica. Os MCPs fornecem energia para todos os equipamentos elétricos do navio, inclusive os quatro MEPs, dois em cada extremidade da embarcação. É difícil dizer qual dessas extremidades é a proa ou a popa dessa embarcação, conforme ilustra a figura 3 a seguir.

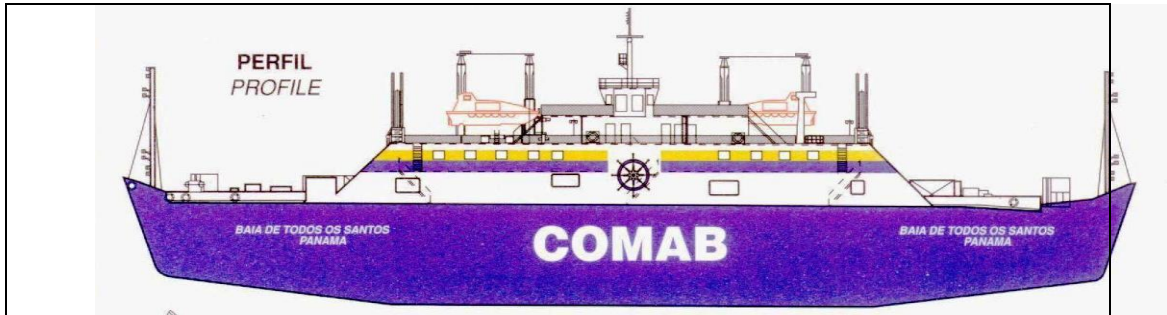


Figura 3 - Perfil do ferry “Baía de Todos os Santos” da COMAB.

Fonte: Fragoso (2002)

Desse modo, fica claro que a propulsão diesel elétrica é usada como solução para navios incomuns, cuja operação é bastante irregular ao longo de um período de tempo. Ou seja, a embarcação intercala poucas horas de travessia com poucas horas em carga e descarga e, frequentemente, manobra varias vezes por dia para atracar e desatracar.

No caso das EAMs, elas manobram junto às plataformas por muitas horas ou mesmo dias seguidos.

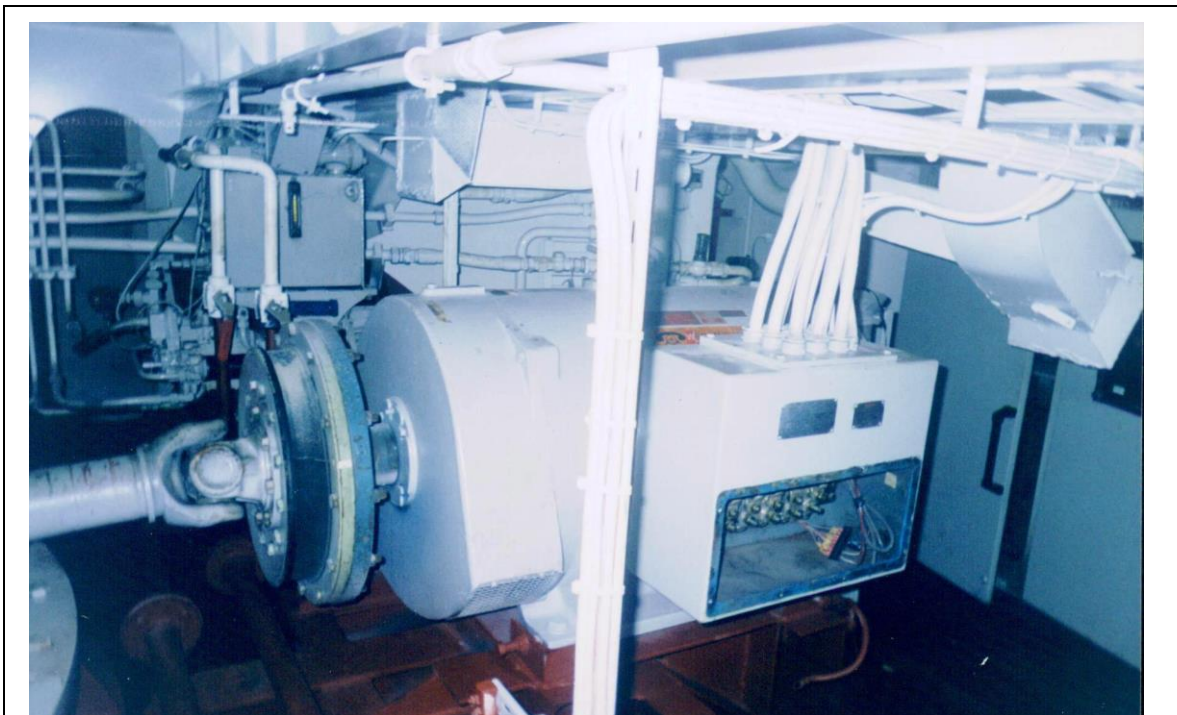


Figura 4 - um dos quatro motores de propulsão (MEP) do ferry “Baía de Todos os Santos”.

Fonte: Fragoso (2002)

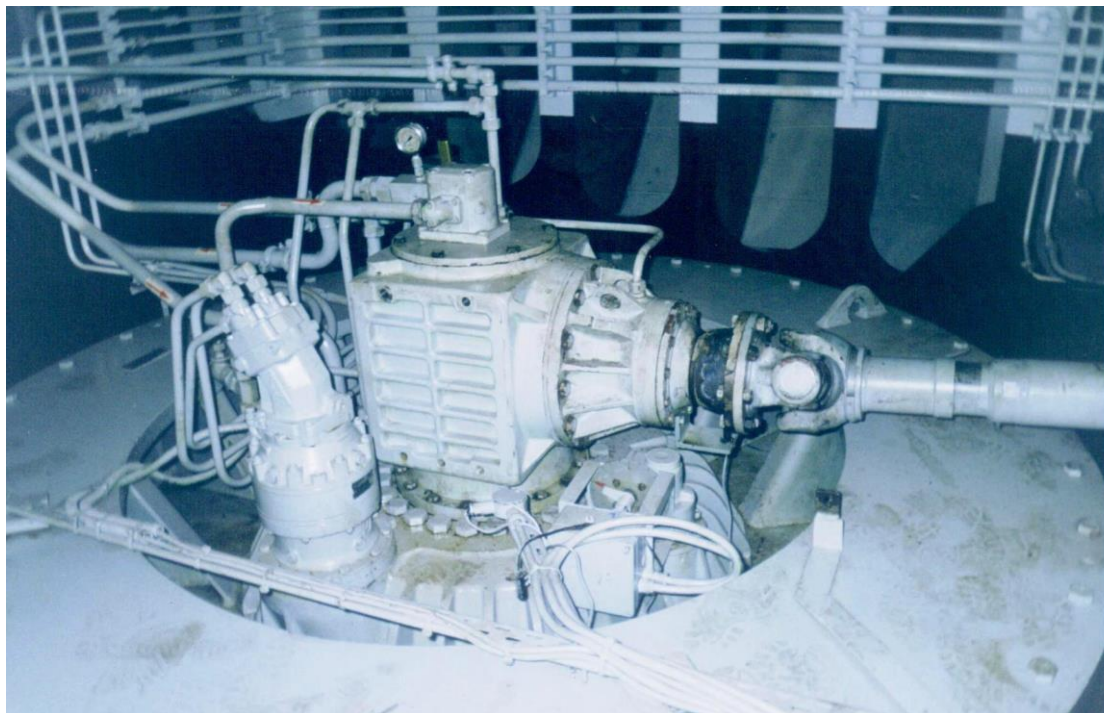


Figura 5 - um dos quatro PODs do ferry “Baía de Todos os Santos”, com a caixa da transmissão, mais o motor do sistema de governo. Visto de cima, dentro do navio.

Fonte: Fragoso (2002)

Segundo Fragoso (2002), a propulsão diesel elétrica não é muito encontrada no mercante clássico, ou seja, não é muito usada no navio comum. Por clássico ou comum entenda-se o navio que, após a operação de carga, manobra de desatracação e saída do porto, coloca a proa na direção de um porto que somente alcançará após dias, semanas ou mesmo meses de navegação, na mesma velocidade, a qual, normalmente, demanda potência muito próxima da carga máxima do MCP. Mesmo operando na costa, o navio comum só muito raramente manobra mais de uma vez por dia, por semana e até por mês, e a manobra é realizada com auxílio de embarcações de apoio portuário.

Para Fragoso (2002), ocasionalmente o navio comum tem hélice lateral na proa, com potência no entorno dos 1.000 HP, mas é um investimento questionável porque o equipamento é inútil em velocidades acima de quatro a seis nós e ainda porque fica parado por muitos dias ou semanas, sem uso, em local muito exposto à umidade. A validade do uso de “*bow thruster*” no navio comum vai depender, dentre outros motivos, da redução de custos

obtida com a menor quantidade de rebocadores portuários e a frequência com que o navio manobra nos portos.

No caso de embarcações como o ferry “Baía de Todos os Santos” existe outra razão para o arranjo da propulsão elétrica. Com dez GEPs dispostos nas laterais da embarcação, em vez de quatro ou seis no centro, o projeto pode deixar espaço livre para o convés de carros (“*car deck*”) no centro da embarcação. O navio com arranjo similar pode ser reconhecido do cais observando-se a chaminé. Em vez de uma única chaminé, essas embarcações possuem duas ou mais chaminés colocadas fora da linha longitudinal que vai da popa até o bico de proa; algumas têm as chaminés quase na borda. Outras embarcações como o ferry “Baía de Todos os Santos” nem têm chaminés claramente visíveis do cais.

Naturalmente, o QEP do navio com propulsão diesel elétrica passa a ser o cerne da manobra do navio. No caso do ferry “Baía de Todos os Santos”, o QEP recebe energia dos GEPs em 440 volts CA, 60 Hz para os MEPs e para os demais utilizadores do navio.

Naturalmente, quase sempre, a carga elétrica dessa espécie de embarcação é maior do que a capacidade de um gerador. Faz-se preciso então ter vários geradores “em barra” e distribuir a carga elétrica total entre eles.

A necessária distribuição da carga elétrica entre os geradores é feita pelo distribuidor de carga. Esse distribuidor de carga é um produto da tecnologia da informação (IT). Alguns autores enquadram os distribuidores mais modernos como controladores lógicos programáveis (CLP ou PLC).

O distribuidor mantém a carga elétrica do navio dividida equilibradamente entre todos os geradores conectados em paralelo no barramento do QEP. Nas embarcações que possuem GEPs com capacidades diversas a distribuição de carga é feita proporcionalmente à capacidade dos geradores.

Desse modo fica evidente que o distribuidor de carga é um elemento essencial à propulsão nos navios com propulsão elétrica e vários geradores. Como todo equipamento de informática, o distribuidor de carga é vulnerável às variações e flutuações da energia.

Normalmente, em vez de usar a rede de 220 volts CA do navio, o distribuidor recebe energia do sistema transitório em 24 volts CC. A energia do transitório vem dos carregadores de bateria e, na falta destes últimos, das baterias do navio.

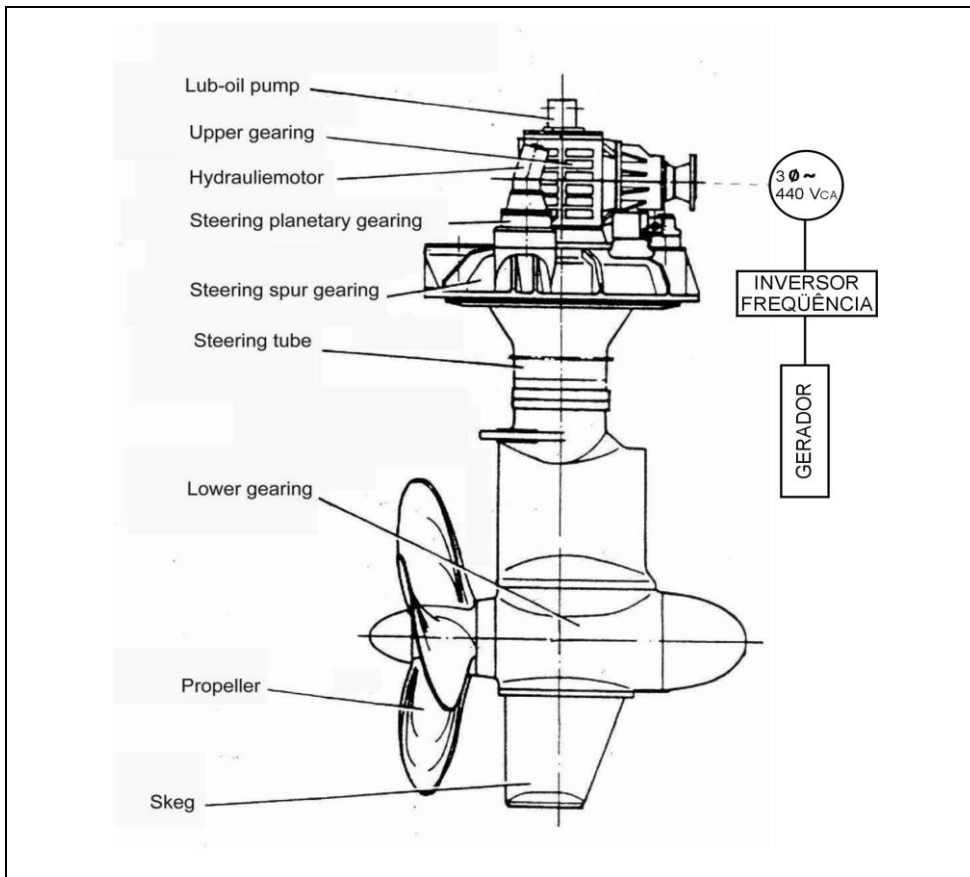


Figura 6 - desenho do POD do ferry “Baía de Todos os Santos”. O fornecimento de energia está indicado à direita do desenho.

Fonte: Fragoso(2002)

Conforme Fragoso (2002), a energia disponível no barramento do navio para os MEPs é retificada e depois encaminhada para um inversor que entrega a energia elétrica aos MEPs em 440 volts CA, 60 Hz. Tudo isso num sistema trifásico em “ Δ ”.

A transmissão de energia para os MEPs, aparentemente tortuosa, se destina a impedir o surgimento dos harmônicos de frequência no barramento do QEP, harmônicos esses induzidos pela variação de carga nos MEPs, especialmente durante as manobras da embarcação.

O navio com um arranjo similar ao ora exibido também ganha em flexibilidade e no gerenciamento de energia. A quantidade de MCPs (grupos geradores) em carga pode ser variada de acordo com a condição da embarcação e com a velocidade, de modo a manter os motores em funcionamento sempre na faixa de melhor desempenho e ótimo consumo de combustível. O plano de balanço elétrico da instalação é um documento fundamental para os operadores nas embarcações desse tipo.

Fragoso (2002) afirma que, modernamente, os procedimentos do Código devem incluir os passos para a mudança de condição do navio, desde a manobra a até a “condição de mar” para a travessia e vice versa. Além disso, o livro de ordens do Comandante deve estabelecer horários para as máquinas prontas para a manobra.

Naturalmente o operador deve estar capacitado a introduzir diversas variáveis no distribuidor, tais como geradores inoperantes ou com capacidade reduzida, ainda que momentaneamente. Como o operador fará a introdução dessas variáveis é uma informação que deve ser obtida durante a ambientação do tripulante a bordo, porque os distribuidores de carga tendem a acompanhar a rápida evolução da tecnologia de informação.

O ferry “Baía de Todos os Santos” não tem leme. O seu sistema de governo emprega a rotação dos PODs em azimute de modo similar ao sistema *Schottel* descrito no início deste capítulo. Embora os PODs não girem até 360° como nos sistemas mais atuais, o emprego de quatro PODs, dois em cada extremidade, permite a embarcação dispensar os lemes e os grandes cilindros hidráulicos da máquina do leme.

O sistema de governo do ferry atua nas engrenagens dos PODs através do motor hidráulico e das engrenagens “*steering planetary gear*” e “*steering spur gear*”. Uma bolina (*skeg*) instalada sob o POD auxilia o efeito direcional do conjunto. As unidades hidráulicas do sistema de governo (bombas) não precisam estar próximas ao motor, o que facilita a ocupação dos espaços disponíveis.

2.4 PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA

As embarcações de apoio marítimo que empregam o sistema *Schottel* têm uma grande extensão de eixo entre o MCP avante e o POD na popa. No caso das plataformas de petróleo auto propulsadas a distância POD – hélice seria muito maior. Além disso, a solução do rebocador trator, com hélice na proa, nem sempre é cabível para as EAM e plataformas, em função da velocidade da embarcação e da hidrodinâmica do seu casco, dentre outros fatores.

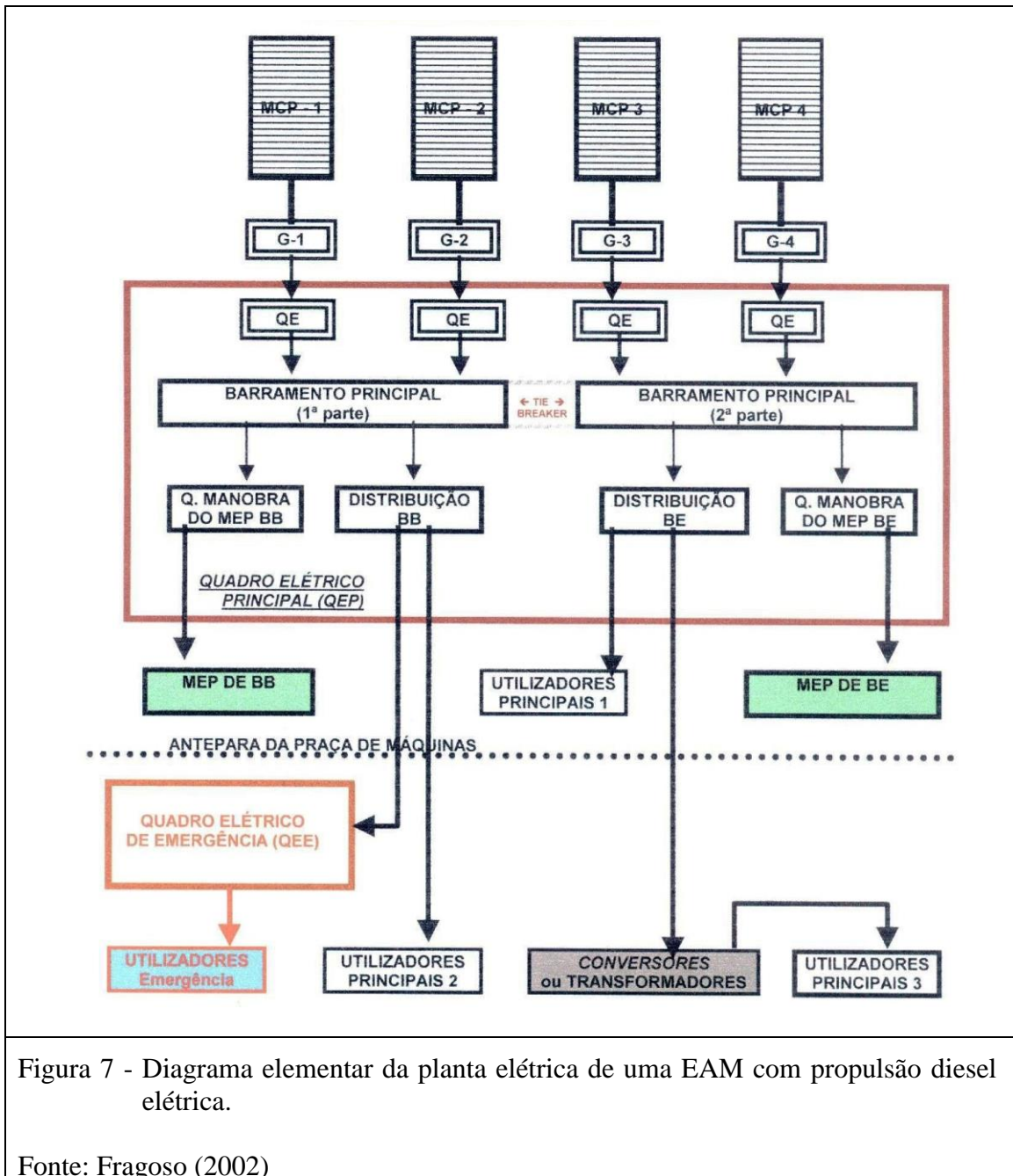
Então, outra solução foi projetada na década de 1970, aproximadamente. O eixo longo entre o hélice e o MCP foi eliminado. No seu lugar foi usada a propulsão diesel elétrica. Nela os MCP, quatro ou seis, acionam igual número de GEPs. Os GEPs são ligados a um QEP e desse QEP sai a energia para os utilizadores do navio e também para o quadro de manobra (controle) dos MEPs. Desse quadro até os MEPs o navio tem cabos elétricos no lugar dos eixos extensos. Os MEPs, dentro do casco do navio, ficam posicionados nas proximidades do

propulsor o que reduz a extensão do eixo entre o acionador e o hélice, mas ainda têm um eixo na popa.

No caso da embarcação com propulsão diesel elétrica o barramento do QEP é obrigado pela Convenção SOLAS a ter uma chave seccionadora (“*tie breaker*”). Essa seccionadora pode ser encontrada normalmente aberta (NO) ou normalmente fechada (NC). Os planos dos quadros e os balanços elétricos das instalações devem indicar qual a posição normal das seccionadoras, se NO ou NC. Podem existir várias chaves seccionadoras nos quadros em vez de apenas uma, em função da corrente de carga.

Embora não existam normas detalhadas na Convenção SOLAS estabelecendo como deve ser a automação em todos os navios, é comum a automação do QEP supervisionar a situação da carga elétrica (demanda de energia) do navio.

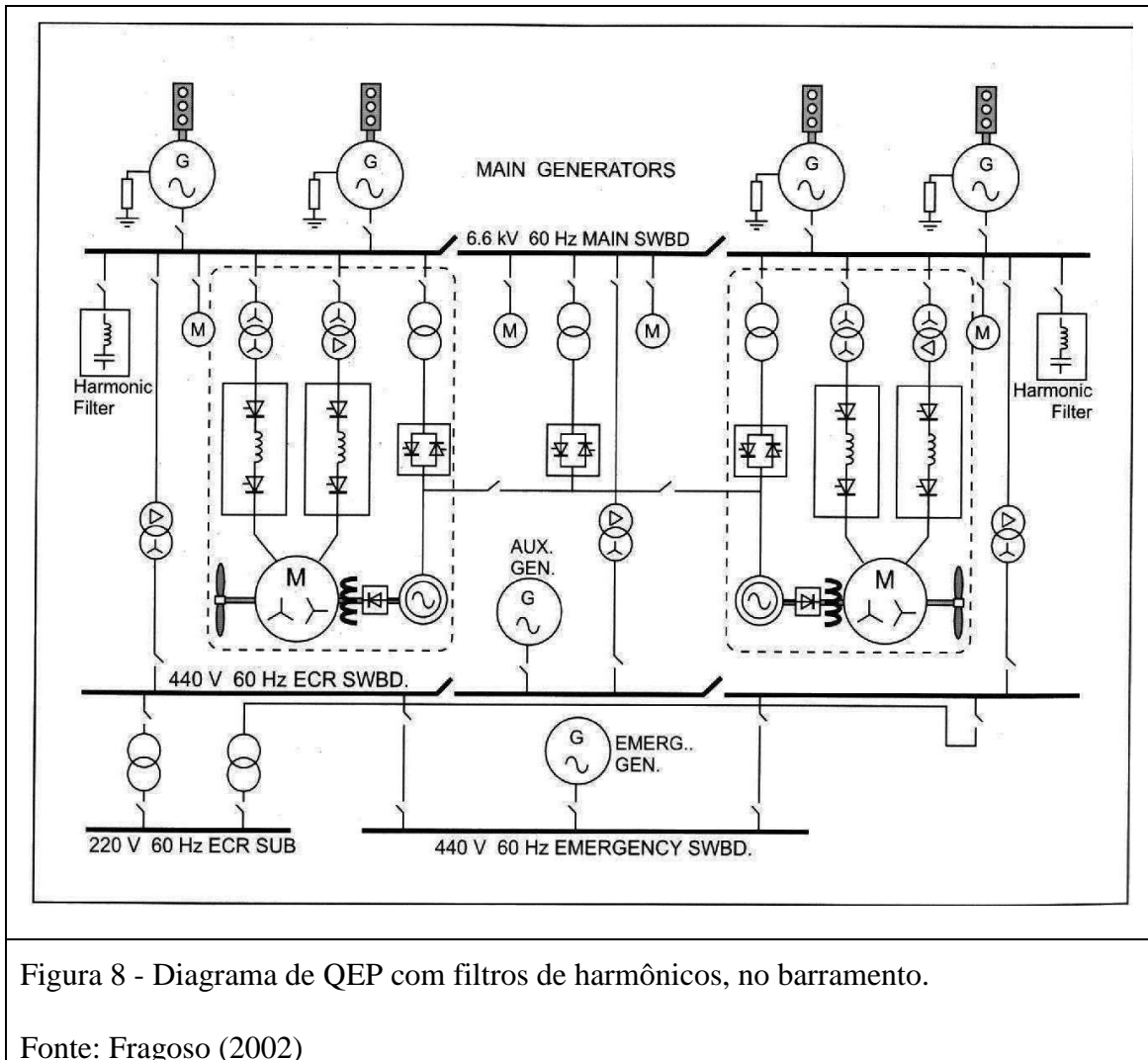
Nesse caso, ao aumentar a demanda de energia devido à aceleração do navio, a automação “chama” outro gerador. Ou seja, a automação aciona o motor diesel do MCP programado, verifica a geração do GEP inclusive a excitação, fecha o disjuntor e distribui a carga, para, em seguida, liberar o aumento da velocidade do navio pela aceleração da rotação do MEP. A figura 7 apresenta um esquema simplificado da planta elétrica dessas embarcações.



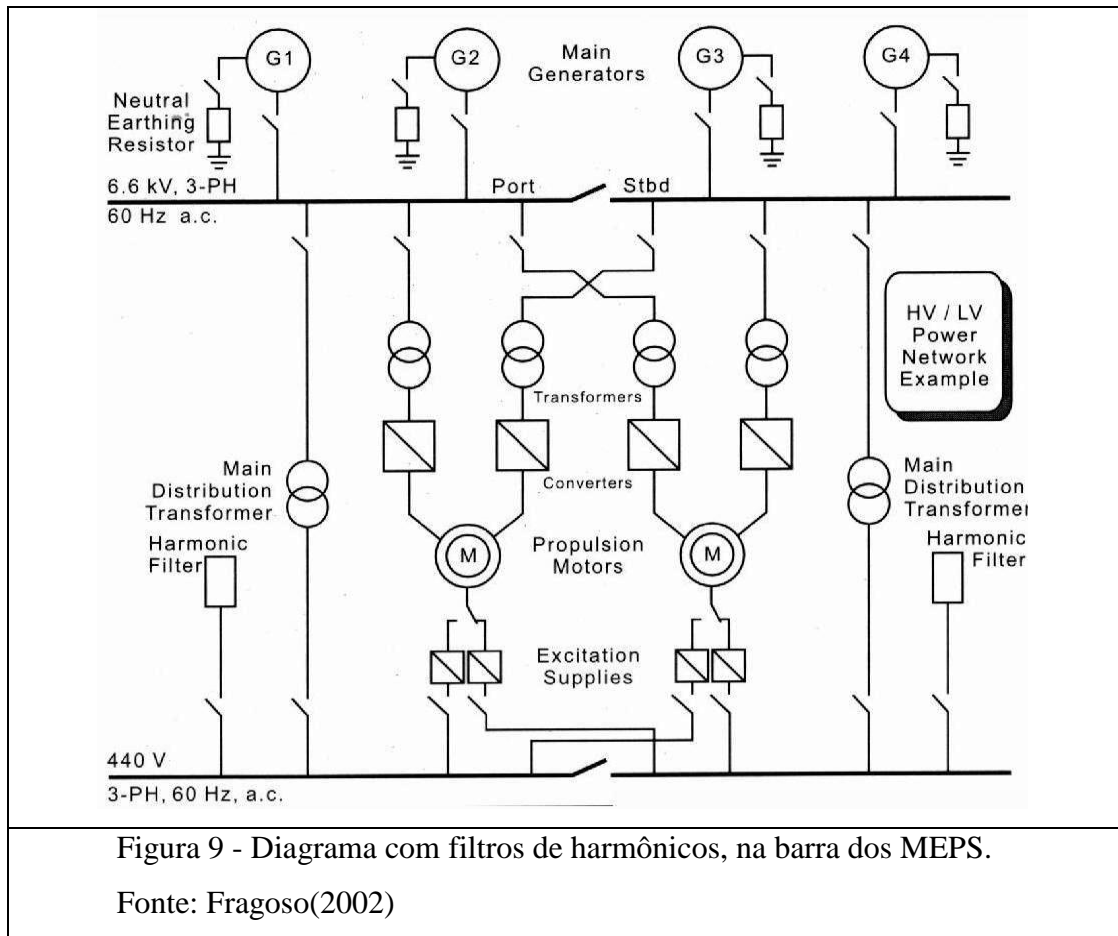
Nas embarcações dessa espécie os MEPs são motores de indução em corrente alternada. A variação de velocidade é feita através de vários artifícios que, isoladamente ou combinados vão atender às necessidades do navio. Conforme o navio e a época da construção, esses artifícios variam desde mudanças na amarração de campos múltiplos, como nos motores *Dahlander*, até o emprego de circuitos eletrônicos e uma combinação desses métodos.

Além disso, é comum encontrar hélices de passo controlado (HPC) nas instalações ora descritas, o que diminui a necessidade de grande variação na carga do MEP. A variação de passo ainda permite a reversão sem precisar parar o MEP e inverter o sentido da sua rotação,

como é preciso fazer nos motores elétricos menores, por exemplo, nos guinchos de atracação e molinetes dos ferros.



Na figura 8 acima, da planta elétrica de uma plataforma, além das quatro seccionadoras, notar também: 1º - além dos quatro MCPs com os seus quatro GEPs, a planta inclui um gerador auxiliar em 440 volts 60 Hz mais um DGE; 2º - são três as fontes em CC para os campos das excitatrizes dos MEPs; 3º - como os GEPs são em 6,6 kV, cada um deles tem um NER entre o ponto neutro e a terra; 4º - os transformadores ora são em “ Δ ” ora são em “Y”, conforme as necessidades de aterramento das tensões mais elevadas, para garantir a segurança da instalação.



Na figura 9 acima, da planta elétrica de uma plataforma, além das duas seccionadoras, notar também: 1º - os GEPs são em 6,6 kV e cada um deles têm um NER (*neutral earthing resistor*) entre o ponto neutro e a terra; 2º - a duplicação nos circuitos de excitação e alimentação dos conversores, como manda a Convenção SOLAS ao tratar dos elementos essenciais à propulsão.

2.5 Comparação entre a propulsão diesel elétrica e a propulsão mecânica

Segundo as informações de Whitman E. C. (2001), o conceito de Propulsão Diesel Elétrica Integrada, utilizando o acionamento elétrico, é a tecnologia mais promissora nos desenvolvimentos da engenharia naval atual, desde o advento dos reatores nucleares e das turbinas a gás há 50 anos.

Entende-se por Propulsão Diesel Elétrica um sistema constituído por um gerador elétrico, acionado por um dispositivo de acionamento principal, que fornece energia para um

motor elétrico que aciona o hélice do navio. A principal característica deste sistema é o controle da velocidade do navio pelo controle da rotação do motor elétrico.

Segundo Mccoy (2002), no Sistema de Propulsão Diesel Elétrica ao invés de dois sistemas de potência separados, cada um com sua limitação de carga específica, passa-se a dispor de uma capacidade de geração única que pode ser distribuída com maior flexibilidade entre as diversas áreas e sistemas de bordo de acordo com as alterações de demanda. Portanto, o conceito de Propulsão Diesel Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares (Fig. 10). E com a eletrificação dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras.

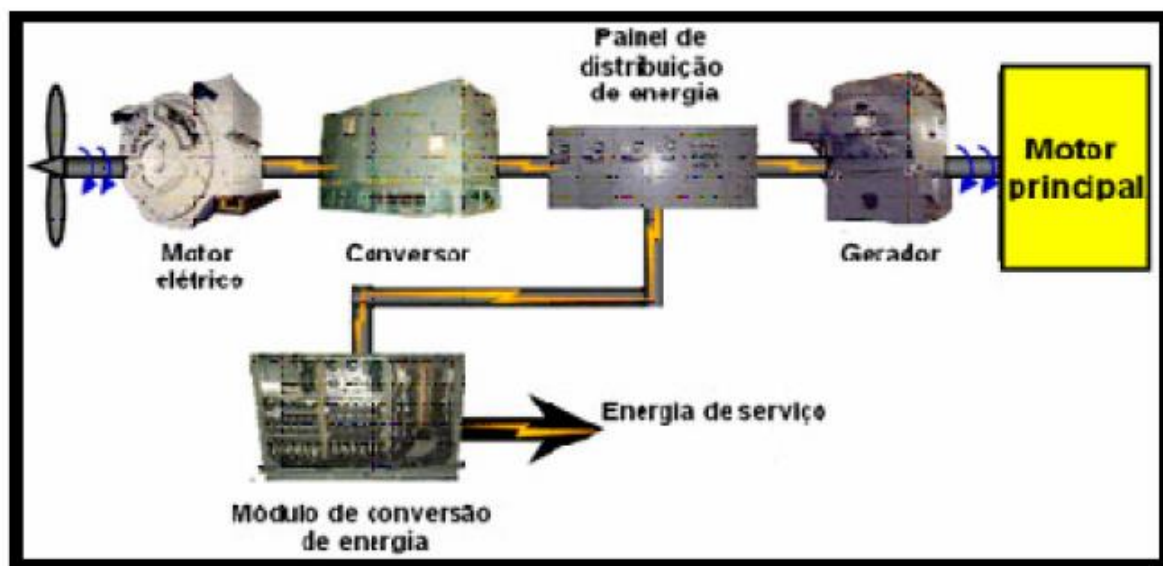


Figura 10 - sistemas auxiliares
Fonte: Mccoy (2002)

Conforme Mccoy (2002), nos navios dotados de Propulsão Mecânica tradicional, a rotação do motor diesel é quem define a rotação do hélice, portanto, o motor em algumas condições de operação não opera na faixa do rendimento ótimo, gerando desta forma um inevitável desperdício de combustível.

No sistema de propulsão mecânico convencional o dispositivo de acionamento principal a ser empregado, que pode ser uma turbina a vapor, um motor diesel, ou uma turbina a gás, é acoplado diretamente ao eixo propulsor do navio através da engrenagem redutora.

Neste tipo de configuração do sistema de propulsão é necessário um dieselgerador auxiliar, instalado em local separado do sistema de propulsão, que fornecerá a potência elétrica para o atendimento da carga hotel, do sistema de combate e demais auxiliares de bordo.

Mccooy (2002) afirma que a Propulsão Diesel Elétrica pode ser descrita de forma mais precisa como a transmissão elétrica de potência entre o dispositivo de acionamento principal e a carga representada pelos propulsores do navio (Fig. 10). Este sistema de propulsão consiste essencialmente na transmissão elétrica para a mudança entre a relativamente alta velocidade e baixo torque do dispositivo de acionamento principal para a baixa velocidade e elevado torque requerido para girar os propulsores.

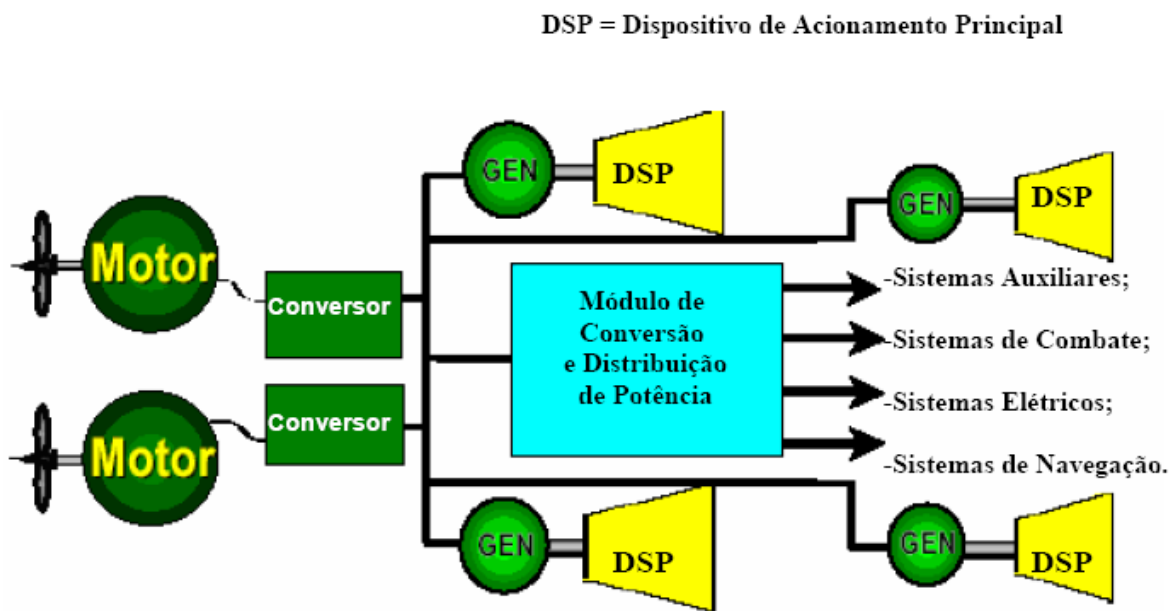


Figura 11: Diagrama em blocos de um Sistema de Propulsão Diesel Elétrica.
Fonte: Mccooy (2002)

No sistema de Propulsão Diesel Elétrico a eficiência da transmissão não é tão sensível à variação da velocidade do eixo propulsor, como ocorre com a transmissão mecânica convencional. Portanto, nos períodos em que o navio opera com velocidade mais baixa a eficiência da transmissão elétrica é maior do que a da transmissão mecânica. E considerando que, o navio opera aproximadamente 85% do tempo em atividades com baixas velocidades de navegação, tem-se aí o grande diferencial positivo para justificar o emprego da Propulsão Elétrica.

2.6 Aspectos relevantes na escolha do arranjo de propulsão elétrica

Para Newel (2000), todos os sistemas de propulsão elétrica possuem quatro componentes em comum: o equipamento de acionamento principal, o gerador, o motor elétrico e o seu conversor. Apesar de possuir os mesmos componentes básicos, a metodologia de operação do sistema e o arranjo dos equipamentos podem ser totalmente distintos.

Hodge (1997) destaca quatro aspectos de maior relevância na escolha do arranjo da propulsão elétrica a ser empregado:

- O tipo de potência elétrica disponível entre o gerador e o motor elétrico (CA ou CC);
- O método de controle da velocidade (variação da tensão CC e/ou a variação da frequência e da tensão para aplicações em CA);
- O tipo do equipamento de acionamento principal, e;
- O método de controle do propulsor.

O tamanho e os requisitos operacionais do navio são os fatores que irão definir o tipo de equipamento de acionamento principal que será empregado na propulsão do navio (turbina a gás, a vapor ou motor diesel). Nos arranjos atuais o acionador principal gira em uma velocidade fixa e as variações na frequência ocorrem na saída do conversor.

Os aspectos relevantes na escolha do tipo de acionamento principal são: o tamanho, o peso incluindo os calços, a economia de combustível alcançada e os custos operativos (manutenção, estoque de peças sobressalentes, treinamento de pessoal, e o custo de indisponibilidade do meio durante o reparo).

Para Hodge (1997), a escolha da arquitetura da distribuição da energia ao longo do navio também merece cuidadosos estudos e análises. A distribuição em corrente alternada, desde a unidade geradora até a carga consumidora é a mais utilizada atualmente nos meios navais.

A outra possibilidade consiste na distribuição em corrente contínua por zonas, através de um barramento que direciona a energia para diferentes partes do navio onde a regulação da tensão é efetuada até o nível desejado.

Dentro das zonas de distribuição em corrente contínua, caso seja necessário, a potência elétrica pode ser convertida em alternada e utilizada por consumidores locais que estiverem posicionados dentro desta região. A distribuição por zonas em corrente contínua consegue obter uma simples monitoração e controle eletrônico do nível da corrente elétrica, desde a

quase instantânea detecção da falta, fato este, que irá possibilitar uma rápida substituição entre as fontes geradoras disponíveis em operação.

Newel (2000) aponta outro aspecto importante na escolha do arranjo da distribuição elétrica de bordo é a filosofia que será empregada na situação do navio atracado ao cais e recebendo alimentação elétrica proveniente das subestações geradoras de terra. Uma alternativa usual, para esta situação consiste no navio dispor de uma ou mais unidades geradoras com potência nominal menor para serem utilizadas quando o navio estivesse atracado, onde a carga de bordo passa a ter valores bem reduzidos (aproximadamente 30 % da carga total).

2.7 Principais Vantagens da Propulsão Diesel Elétrica

2.7.1 Redução do Consumo de Combustível

Para Freire (2004), em navios com propulsão mecânica tradicional, a velocidade do motor é que define a rotação do hélice; conseqüentemente, dependendo do perfil de operação do navio, o motor pode não operar na faixa de rendimento ótimo, associado às altas velocidades. Isto significa desperdício de combustível e excessivo desgaste mecânico.

Conforme Newel (2000), com o uso da propulsão elétrica, este problema é eliminado, e o motor primário pode operar no ponto de melhor rendimento independente da velocidade de rotação do hélice. Em virtude da extinção da conexão mecânica entre motor primário (que gera potência através da queima de combustível) e o eixo propulsor, não existe mais relação direta entre a velocidade do eixo do motor primário e a rotação do hélice. Segundo o documento da referência [9], a Marinha Americana estimou a eficiência energética em aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica.

Pereira(2006) que comparou três tipos de instalações propulsoras diferentes, para um mesmo navio gaseiro, durante um ano de operação, a Propulsão Elétrica foi a que apresentou os melhores resultados e as maiores vantagens em relação ao consumo de combustível.

2.7.2 Redução da Tripulação

Segundo Newel (2000), a tendência para os futuros navios elétricos é de uma ampla difusão de sistemas auxiliares e acessórios alimentados por eletricidade, em substituição aos sistemas mecânicos, hidráulicos e pneumáticos. Sistemas elétricos são mais fáceis de controlar à distância e possuem maior compatibilidade com controles eletrônicos. Esta tendência possibilita o incremento de automação com conseqüente redução de tripulação, proporcionando adicional benefício através da redução de custo operacional.

2.7.3 Flexibilidade do Projeto

Conforme Pereira (2006), os equipamentos da propulsão elétrica são modulares e não precisam ser posicionados próximos uns aos outros (podem inclusive ser instalados em compartimentos diferentes). Dependendo do tamanho das máquinas, elas podem ser instaladas nas partes mais altas do casco, deixando apenas o motor elétrico junto ao fundo do casco conectado ao propulsor.

Para Jebsen (2001), como resultado desta flexibilização, torna-se desnecessário concentrar equipamentos em praças de máquinas principais; sendo possível espalhar os compartimentos de máquinas pelo navio, em áreas menos críticas, com um aproveitamento otimizado do espaço disponível a bordo.

No navio com propulsão elétrica não são necessários motores auxiliares. Toda energia demandada pelo navio será gerada pelos motores principais. Esta diminuição na quantidade de motores também provoca redução de custos e economia de espaço.

A modularidade do sistema permite também que em altas velocidades sejam utilizados todos os dispositivos de acionamento principal e, nas velocidades econômicas sejam desligados os que não forem necessários.

2.7.4 Aumento da Capacidade de Sobrevivência do Navio

A modularidade e a flexibilidade proporcionam um sistema de geração de energia e de propulsão redundantes, distribuídos e reconfiguráveis.

Freire (2004), entende que os danos em um compartimento de máquinas, seja provocado por incêndio, alagamento ou simples mau funcionamento, podem facilmente ser detectados e “by-passados”, mantendo-se o funcionamento do sistema inalterado. A facilidade para o redirecionamento da energia elétrica a bordo, possibilita uma elevada gama de possibilidades de ações para minimizar os efeitos decorrentes de múltiplas falhas simultâneas.

2.7.5 Aumento da Vida Útil do Navio

Freire (2004) afirma que os navios militares modernos incorporam cada vez mais sensores e armas de alta complexidade tecnológica, que os tornam muito mais potentes do que os navios de gerações anteriores. Já os investimentos necessários para a aquisição destes meios têm crescido numa progressão ainda maior, tornando difícil justificar este gasto considerando o tempo de vida útil dos navios tradicionais.

Segundo a CNO (2001), com o evento da automação dos sistemas de armas, nas décadas de 80 e 90, mais equipamentos elétricos e eletrônicos estão sendo incorporados aos navios, aumentando a demanda por energia elétrica. Isto vem fazendo com que os geradores instalados a bordo sejam de potência mais elevada, a fim de suprir a demanda já instalada e manter uma reserva para crescimento futuro. A futura adoção das armas elétricas, que estão atualmente em pleno desenvolvimento, tende a agravar ao extremo esta situação.

Com a propulsão elétrica, o cenário muda radicalmente. Os geradores de bordo alimentam simultaneamente a propulsão, as auxiliares e os sistemas de armas, através de um sistema de distribuição redundante e reconfigurável. Os motores são dimensionados para atender ao navio em velocidade máxima, com todos os sistemas vitais em operação.

Smith (2002) afirma que, com isto, em velocidade normal, o navio possui capacidade de geração em excesso, capaz de atender todos os usuários com folga, assimilando sem dificuldades as substituições ou inclusões futuras de novos equipamentos ou sistemas. Os navios projetados com propulsão elétrica podem ter vida útil maior, da ordem de 50 anos, contra 25 ou 40 anos dos navios com propulsões tradicionais.

2.7.6 Redução dos Custos de Manutenção

Para Freire (2004), a viabilidade da existência de uma tecnologia comum dentre as diversas plataformas navais (ex: navios de superfície e submarinos), com a adoção da Propulsão Elétrica, possibilitará a coordenação do desenvolvimento e aplicação de modelos comuns, ferramentas de projetos, métodos de fabricação, novos materiais, componentes, sistemas, contribuindo para significativas reduções no risco do projeto e maximizando os custos e a logística.

Mccooy (2002) entende que, uma vez que com a adoção da Propulsão Elétrica não são necessários motores auxiliares, esta redução na quantidade de equipamentos instalados resulta numa diminuição dos custos de manutenção. Associado a este fato, sabe-se que os equipamentos elétricos apresentam custos e períodos menores de manutenção e devido à elevada automação dos sistemas elétricos, as manutenções preditiva e preventiva são ferramentas eficazes para a redução dos custos totais de manutenção.

2.7.7 Redução da Emissão de Poluentes

Segundo Newell (2000), atualmente todas as Marinhas do mundo são pressionadas pelos órgãos ambientais para que as mesmas em seus projetos de futuros navios, e também em relação aqueles já em funcionamento, apresentem uma redução na quantidade de poluentes emitidos durante a realização das operações militares. Todos os tipos de poluentes emitidos (gasosos, líquidos ou sólidos) estão sendo cada vez mais monitorados e as legislações (ex: MARPOL) estão sendo elaboradas com requisitos mais rigorosos.

Conforme Pereira (2006), em decorrência das pressões internacionais busca-se utilizar cada vez menos combustíveis fósseis. As emissões de gases poluentes oriundas da queima de óleo diesel e gasolina são os maiores responsáveis pelo efeito estufa. Neste contexto, a propulsão elétrica está sendo fortemente indicada, principalmente para navios que operam em países que assinaram o Protocolo de Kyoto.

Hodge (1997) explica que durante a operação com navios civis e militares, deve-se sempre levar em conta os aspectos ambientais do transporte. Neste sentido, a utilização da propulsão elétrica apresenta vantagens em relação à propulsão mecânica, tais como:

- Redução das emissões de gases poluentes oriundos da queima do óleo diesel;

- Menor utilização de insumos que podem gerar resíduos poluidores; e
- Menor emissão de ruídos durante as viagens.

No futuro não somente os poluentes emitidos durante a vida operativa do navio serão controlados, mas também todos aqueles produzidos durante a sua construção até o encerramento do período operativo do meio (desativação do meio naval). É uma nova filosofia, ainda de difícil aplicação prática, mas que está ganhando muita força nos dias atuais, devido à atitudes políticas de interesse mundial.

2.7.8 Redução da Assinatura Acústica

Para Freire (2004), na Propulsão Elétrica não é necessário haver o alinhamento das máquinas acionadoras principais com as linhas de eixo, tornando, portanto desnecessária a utilização de engrenagens redutoras. A eliminação desta engrenagem contribui significativamente para a redução nos níveis de ruído e vibração, garantindo desta forma uma significativa diminuição da assinatura acústica do meio, reduzindo conseqüentemente a possibilidade do navio ser detectado.

Além disto, os motores elétricos apresentam menor nível de ruído irradiado, devido às suas características construtivas e, portanto, não produzem tanta vibração e ruído quanto os equipamentos mecânicos..

Para Newel (2000), à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica total emitida

Algumas vantagens associadas à adoção do acionamento elétrico são listadas a seguir:

- Excelente controle de velocidade e torque em toda faixa de velocidade;
- Facilidade para adoção de controles automáticos e remotos;
- Maior capacidade de reversão rápida de velocidade, propiciando a redução de tempo e distância de parada brusca (30 a 50% de redução na distância de parada, em caso de emergência) (Pereira, 2006).
- Não é necessário usar hélice de passo controlável, haja vista que, o custo deste hélice representa cerca de 33% do valor da máquina principal, enquanto que, o hélice de passo fixo representa apenas 8% (Pereira, 2006);
- Redução do ruído do motor e da vibração transmitida do eixo ao hélice; e

- Flexibilidade no gerenciamento da distribuição da potência em operações normais e rápida recuperação após a detecção de defeitos (incêndios, alagamentos, ataques a bala, e outros tipos de falhas)

3 PROPULSÃO EM CORRENTE ALTERNADA MEP NO POD (AZIPOD®)

3.1 PROPULSÃO AZIPOD®

No início da década de 1990 surgiu o sistema de propulsão elétrica no qual o MEP fica instalado dentro do POD e, portanto, dentro da água. Esse POD tem movimento azimutal. O sistema recebeu a denominação de AZIPOD®. Um POD pré-fabricado inclui a estrutura e o motor que, no momento mais adequado da construção, é instalado e conectado ao sistema elétrico do navio e ao sistema de governo.(SOLER, 2005)

O nome azipod provém do inglês e ainda não tem tradução para o português. Consiste num motor elétrico do estilo "fora-de-bordo", acoplado ao casco do navio que tem a capacidade de girar 360°. Este fato elimina a necessidade de leme já que ao dirigir o azipod dirige-se igualmente o fluxo de água.

A primeira instalação AZIPOD® operou em 1990. Em março de 2003, foi alcançada a marca de 700.000 horas de funcionamento e esse número cresce rapidamente.(SOLER, 2005)

3.2 Vantagens Principais da Propulsão AZIPOD®

O sistema de propulsão AZIPOD® combina as vantagens de vários sistemas de propulsão convencionais já existentes no mercado. As vantagens descritas pelo fabricante são as seguintes:

Excelentes características de manobrabilidade e desempenho hidro-dinâmico, mesmo em severos ambientes antárticos e offshore;

Elimina a necessidade de longas linhas de eixo, bem como lemes, hélices laterais, hélices de passo variável e engrenagens redutoras;

Possibilita projetos de cascos mais simples;

Combinado com uma planta de energia elétrica, a propulsão AZIPOD® proporciona melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga, e, ainda, níveis reduzidos de ruído e vibração, menor tempo de indisponibilidade, maior segurança e mais redundância. (ARPIAINEN, 2003)

A flexibilidade de operação do sistema de propulsão AZIPOD[®] conduz ao menor consumo de combustível, custos de manutenção menores, emissões de gases reduzidas e maior redundância, tudo com menor quantidade de máquinas.

Como consequência da menor quantidade de máquinas, o sistema AZIPOD[®] tem menos cilindros de motor para manter.

A unidade AZIPOD[®] tem um projeto flexível. Ela pode ser construída para empurrar ou puxar, em águas livres ou em águas com gelos. A unidade pode ser equipada com hélices fora de centro, com ou sem “nozzle”.

Devido à hidrodinâmica avançada, a unidade AZIPOD[®] possui excelente desempenho de campo de esteira (wake field).

3.3 Sistema Elétrico do Navio e a Propulsão Azipod[®]

Na propulsão AZIPOD[®] o sistema elétrico do navio emprega vários grupos geradores conectados ao QEP. Esse QEP distribui energia aos utilizadores do navio, inclusive à propulsão AZIPOD[®].

Empregando vários grupos geradores, MCPs na maioria dos casos, ou TGs em algumas embarcações, torna-se possível planejar as atividades de manutenção, parar um gerador em viagem para serviços de manutenção e mesmo assim manter a embarcação em plena operação. No caso de grupos geradores a diesel, todos os motores podem ser idênticos, o que minimiza os estoques de peças sobressalentes. A quantidade de máquinas auxiliares também é muito reduzida. (ARPIAINEN, 2003)

3.3.1 Aspectos Ambientais

A propulsão AZIPOD[®] também tem a vantagem de um perfil com baixa emissão de gases. Análises das emissões mostram que as máquinas de combustão interna emitem menos óxido de nitrogênio quando operadas em RPM constantes do que em velocidades variáveis. Como a propulsão AZIPOD[®] emprega máquinas que operam em RPM constante e na faixa de melhor desempenho, as descargas de gases para a atmosfera são reduzidas. Essa característica será muito importante em futuro próximo para as embarcações que operam em rotas costeiras,

fluviais, amazônicas inclusive, e, especialmente nas proximidades de plataformas. Além disso, a propulsão elétrica é ideal para empregar novas fontes de energia como as “power cells” de hidrogênio.

3.3.2 Propulsão AZIPOD®

Propulsão AZIPOD® (**A**zimuthing **P**odded **D**rive) é um sistema de propulsão elétrica que emprega uma unidade POD com capacidade de rotação em azimute até 360° e potências até 30 MW.

O sistema AZIPOD® consiste das unidades de propulsão AZIPOD®, dos “ACS Series Marine Drive”, transformadores da propulsão, se necessário, sistema de controle e o sistema de energia com geradores e quadros elétricos (figura 12). Os motores de propulsão podem ser assíncronos ou síncronos, dependendo da aplicação.

O motor elétrico instalado no POD aciona diretamente um hélice propulsor de passo fixo e é capaz de proporcionar o torque total em todas as direções, e, do mesmo modo, nas baixas rotações.

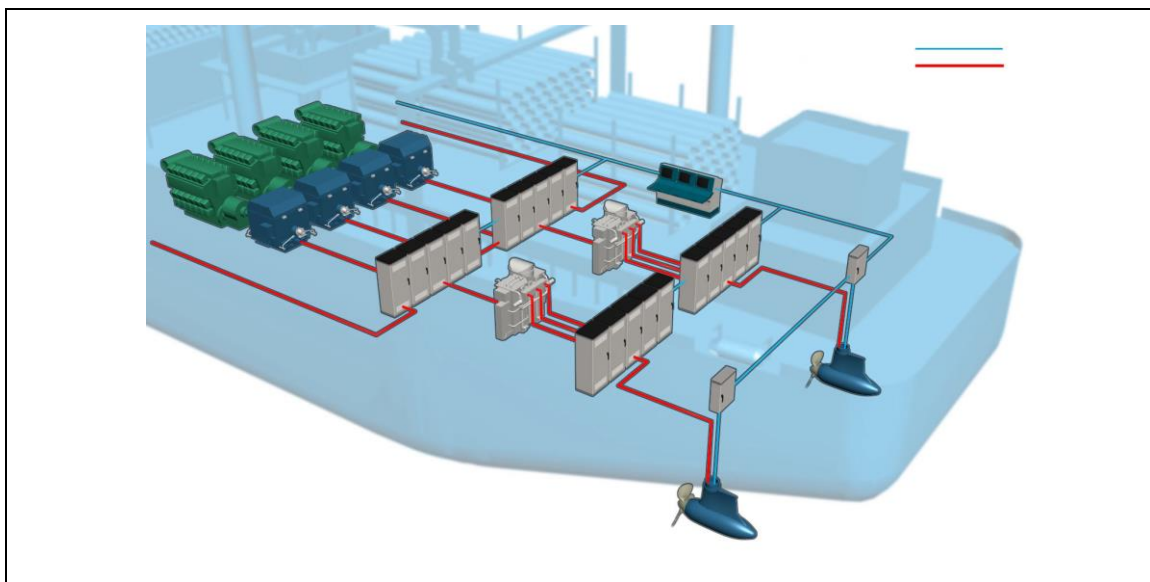


Figura 12 - Arranjo típico do sistema AZIPOD® e do sistema de energia. As linhas azuis representam circuitos de controle, as vermelhas as linhas de energia. O navio representado tem quatro GEPs iguais, o QEP, seccionado, por ante a ré dos GEPs, dois transformadores de propulsão, os quadros da propulsão e dois PODs com os motores elétricos da propulsão (MEPs).

Fonte: (ARPIAINEN, 2003)

O propulsor AZIPOD® proporciona uma excelente capacidade de manobra com ótimo torque, em qualquer direção, e permite uma rápida mudança na direção do empuxo do hélice propulsor.

3.3.3 Empregos

A propulsão AZIPOD® pode ser empregada em várias espécies de embarcações. Ela é ideal para navios de cruzeiro turístico e atende as necessidades de qualquer outra espécie de embarcação, bem como trás várias vantagens aos navios-tanque, quebra-gelos, porta containeres e vários tipos de ferry-boat.

Também existem unidades de propulsão AZIPOD® para navios quebra gelos e para embarcações onde o máximo “bollard pull” é uma característica fundamental. As unidades AZIPOD® também podem ser conjugadas com “nozzles”.

3.3.4 Propulsão AZIPOD® simples e dupla

A propulsão AZIPOD® simples, ou singela, é mais empregada em navios de carga, navios-tanque, por exemplo. A figura 13 ilustra a propulsão dupla. Ela é muito usada em navios de cruzeiro e ferries. É um excelente sistema de propulsão nos casos em que é preciso uma boa capacidade de manobra e alta redundância.

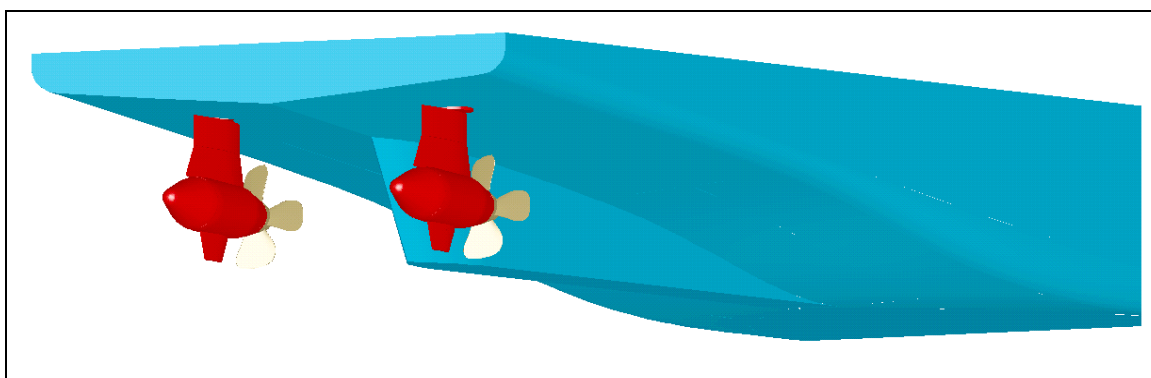


Figura 13 - propulsão Azipod® dupla.
Fonte: ARPIAINEN, (2003)

3.3.5 Propulsão CRP AZIPOD®

Após intenso trabalho de desenvolvimento a ABB lançou a nova propulsão CRP AZIPOD® (CRP=Contra Rotating Propellers). Ela é uma solução competitiva para os porta-containers de alta velocidade e ferries. Nessa nova propulsão existe uma linha de eixo convencional e, por ante a ré dela, o AZIPOD® atua como um leme e um hélice de “contra-rotação”.

Conforme demonstram os testes com modelos o CRP AZIPOD® tem uma eficiência hidrodinâmica muito maior se comparado ao navio com a convencional linha de eixo. Os ganhos totais são significativos se incluir nos cálculos, além da maior eficiência hidrodinâmica, as vantagens no arranjo da instalação elétrica. Para duas embarcações iguais aquela com propulsão elétrica precisa de menos potência, 10% aproximadamente, o que significa menor consumo de combustível e menos cilindros de motores para manter. Isso é ainda mais pronunciado quando a operação da embarcação tem um perfil variável. Também resulta a vantagem de empregar em outras destinações o espaço de bordo economizado com o AZIPOD®.

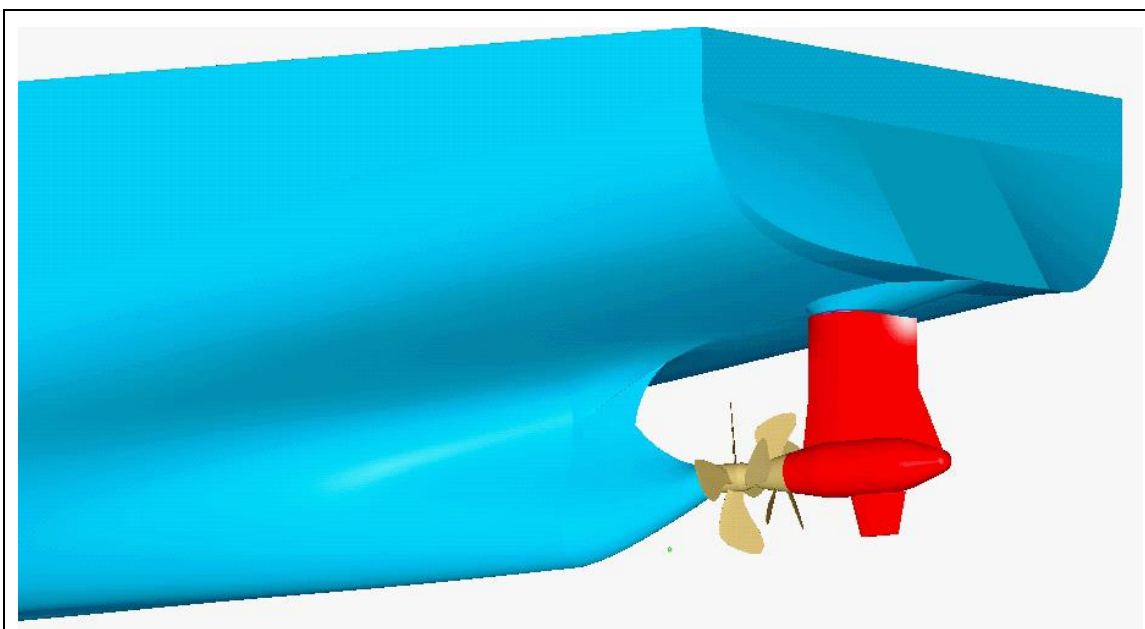
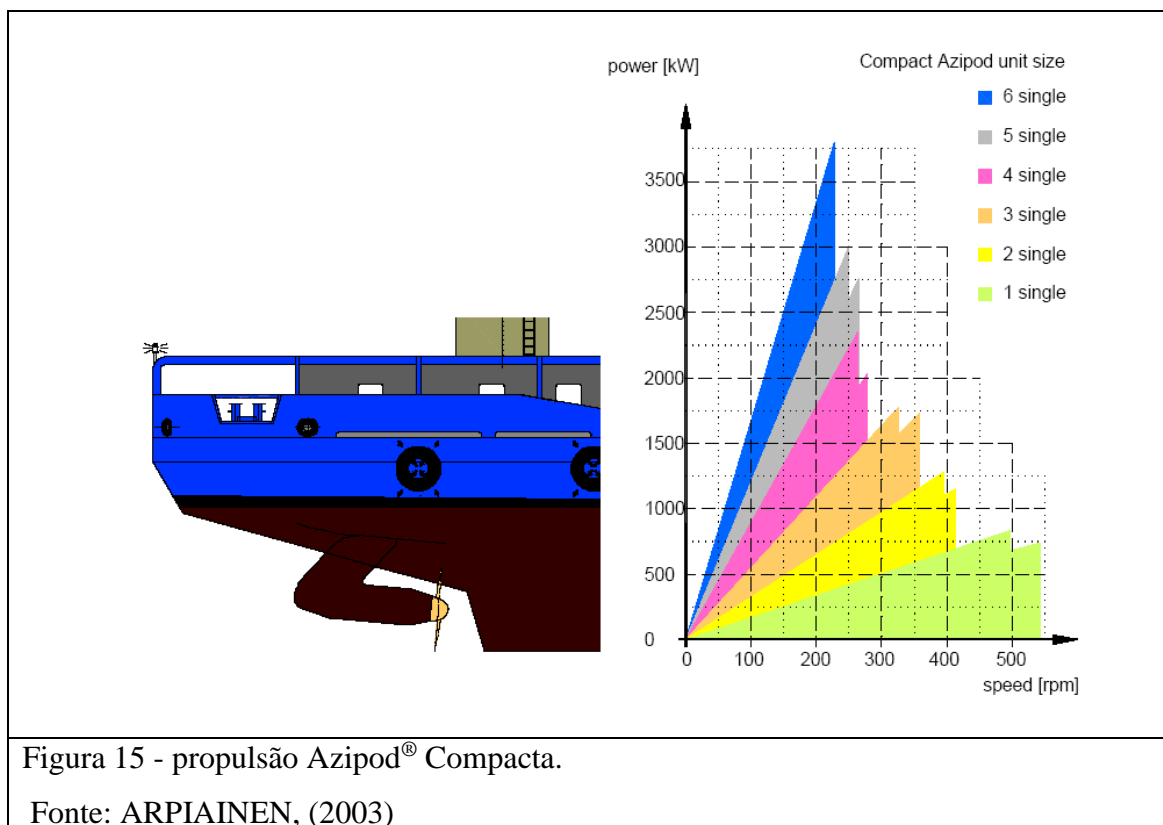


Figura 14 - propulsão CRP Azipod®.

Fonte: ARPIAINEN, (2003)

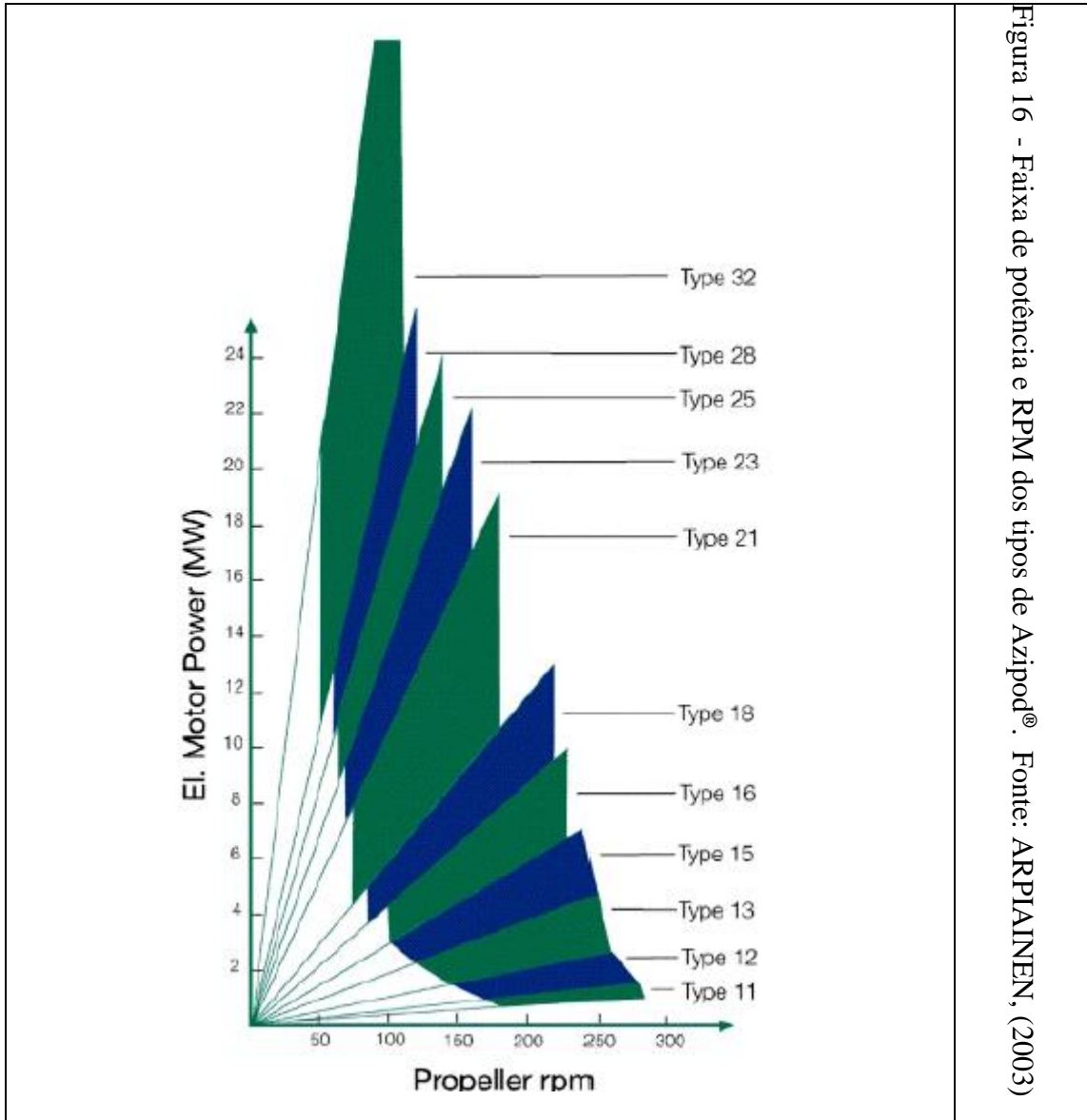
3.3.6 Propulsão AZIPOD® Compacta

A figura 15 apresenta a propulsão AZIPOD® compacta. Ela é excelente para uma variedade de embarcações com potências entre 0,5 e 4 MW, como iates e pequenas embarcações de carga. Essa propulsão é modular e simples o que traz vários benefícios durante a construção da embarcação e também na manutenção durante a operação do navio. A entrega e instalação “just in time” é ideal com o sistema AZIPOD® compacto. Ele é fácil instalação e economiza espaço a bordo, bem como proporciona excelente capacidade de manobra.



3.4 POTÊNCIAS

A figura 16 a seguir apresenta a correspondência entre as potências e os modelos de propulsão AZIPOD®. Os valores das potências podem variar dependendo do resfriamento do motor e do seu tipo.



3.5 COMPONENTES

3.5.1 Unidades principais

As figuras 17 e 18 a seguir apresentam as partes componentes da propulsão AZIPOD®. As partes principais totalizam sete unidades compreendendo módulos e sistemas auxiliares. As unidades são as seguintes:

AZU –AZIPOD Unit

STU – Steering Unit

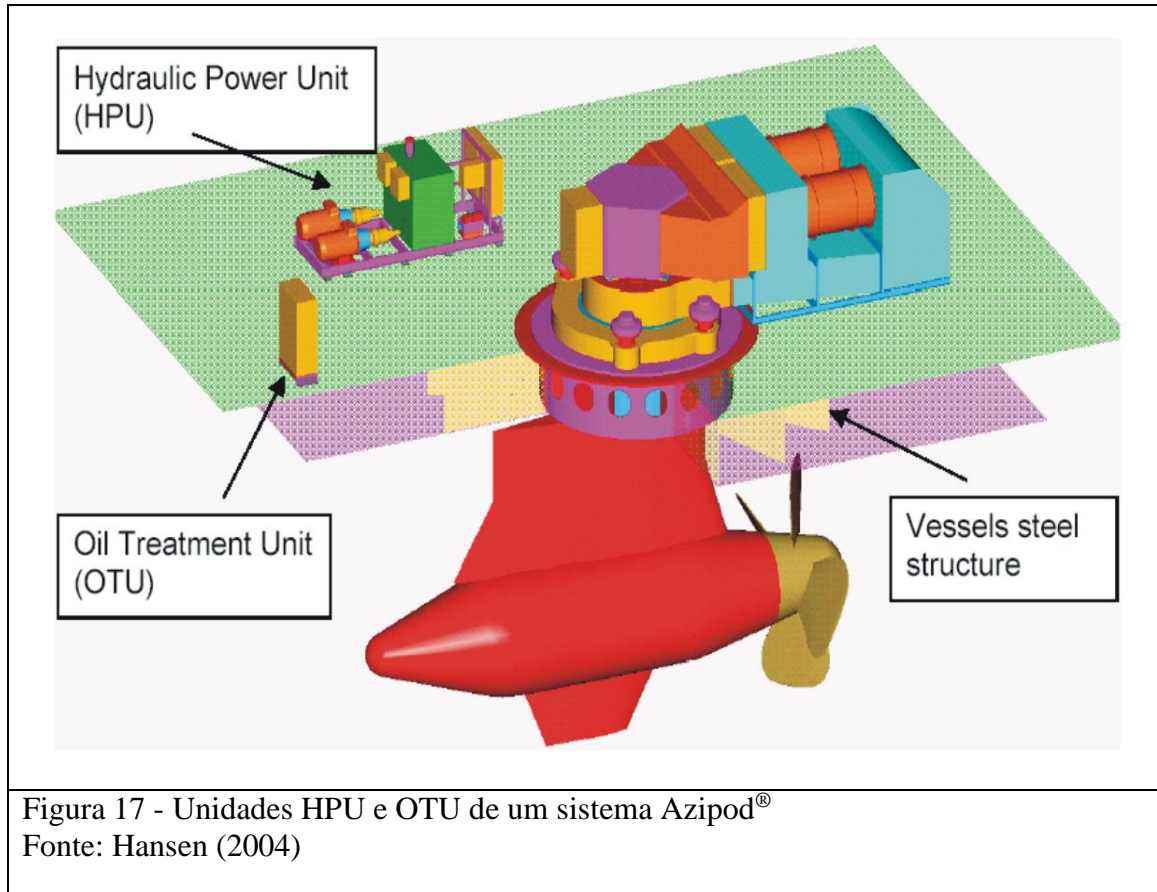
TRU – Transfer Unit

CAU – Cooling Air Unit

HPU – Hydraulic Power Unit

OTU – Oil Treatment Unit

AIU – AZIPOD Information Unit



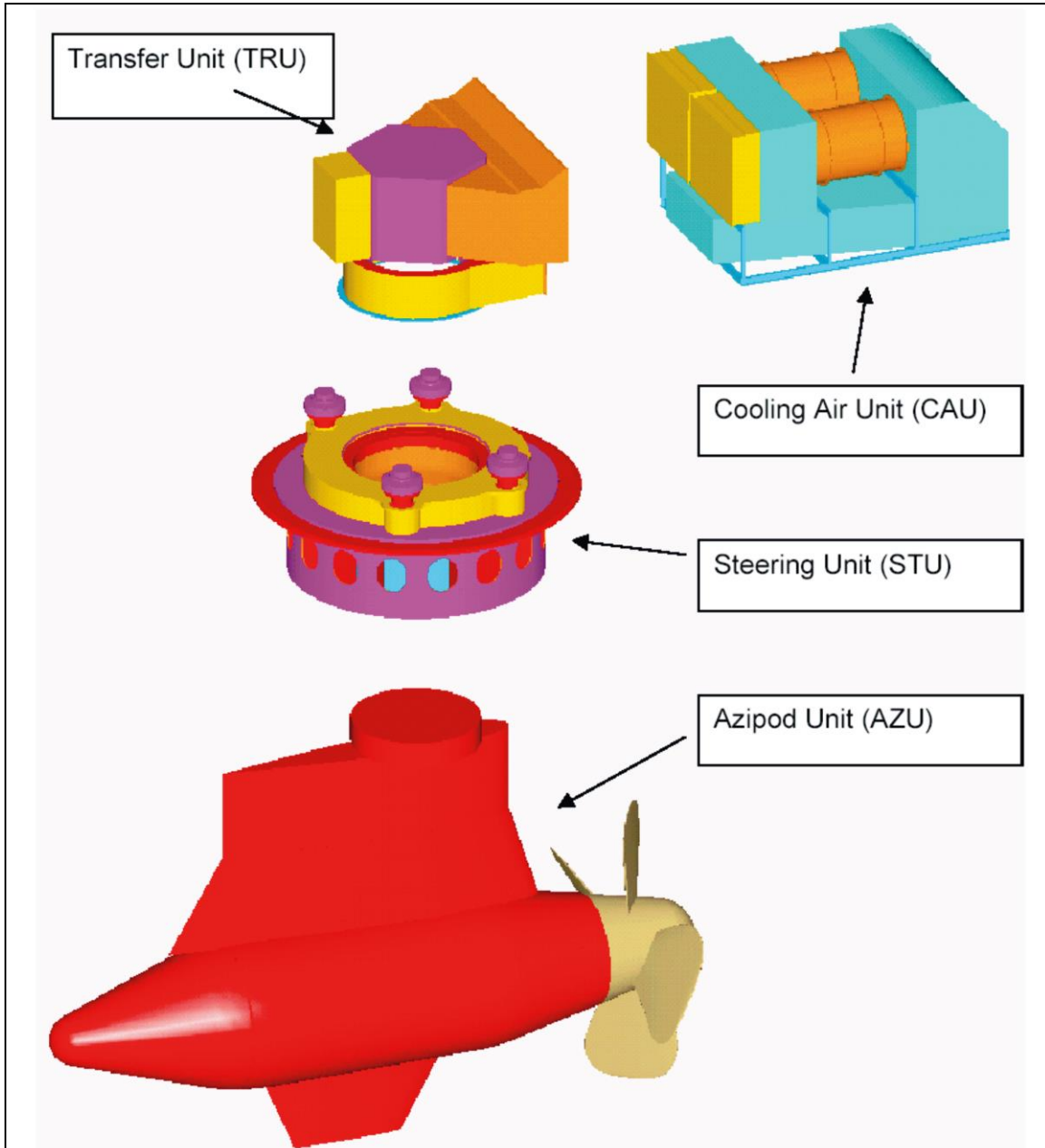
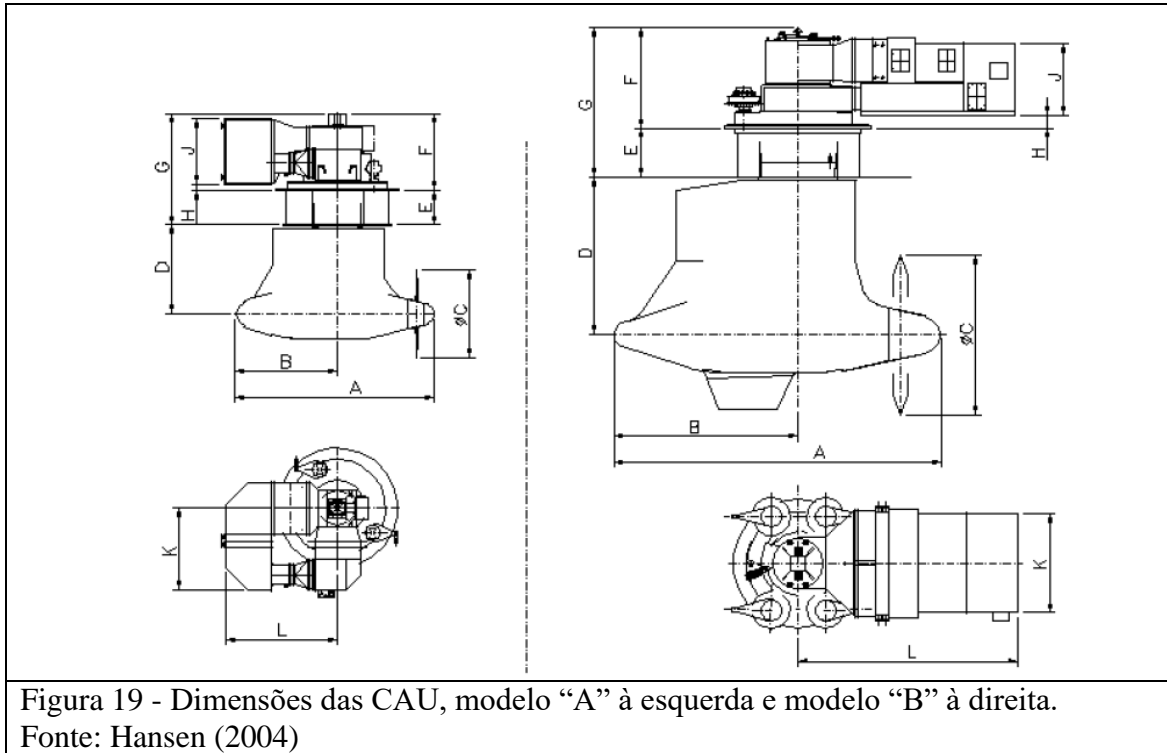


Figura 18 - Unidades TRU, CAU, STU e AZU de um sistema Azipod®
Fonte: Hansen (2004)

3.5.2 .Dimensões principais



De acordo com o tipo da unidade AZIPOD® as dimensões mostradas na figura 19 têm as seguintes grandezas.

A – 6200 até 15200 mm

B – 3250 até 8200 mm

C – 2000 até 8500 mm

D – 1800 até 7650 mm

E – 800 até 2800 mm

F – 2050 até 5500 mm

G – 2850 até 8300 mm

H – 250 até 650 mm

J – 1800 até 4000 mm

K – 2500 até 7500 mm

L – 3500 até 9000 mm

3.5.3 Massas das unidades principais

Dependendo do tipo, uma unidade completa AZIPOD® pode ter desde 28 até 655 toneladas.

3.6 CONDIÇÕES RECOMENDADAS PARA O AMBIENTE DE OPERAÇÃO

3.6.1 .Unidades AZIPOD®

- Temperatura da água do mar: + 32°C;
- Ângulo máximo com o plano vertical transversal (tilt angle): 6°;
- Ângulo máximo com o plano vertical longitudinal (setting angle): 4°.

3.6.2 .Compartimento do AZIPOD®

- Temperatura: +2 até + 45°C;
- Umidade relativa até 95%, sem condensação;
- Temperatura da água doce de resfriamento: +5 a +42°C (38°C normalmente);
- Pressão da água de resfriamento: dois até seis bar.

4 GERENCIAMENTO DE ENERGIA

Por gerenciamento de energia compreende-se o controle da transformação e do débito de energia, evitando desperdício enquanto fornece toda a energia necessária ao atendimento das tarefas da embarcação e à sua segurança. Por débito de energia entendam-se todas as formas de transformação do combustível, ou combustíveis, do navio, seja nos Motores de Combustão Auxiliar (MCAs), Motor de Combustão Principal (MCPs), caldeiras, destiladores, etc. para produzir eletricidade, calor ou acionar eixo propulsor.

Após sair do porto, o navio mercante mais comum acelera a sua propulsão até bem próximo da máxima potência disponível, muitas vezes incluindo o gerador de eixo. A produção de calor, seja com vapor ou óleo térmico, é feita por uma caldeira de recuperação de gases do MCP. O destilador emprega o calor da água doce de resfriamento desse motor. Desse modo, as máquinas do navio permanecem em uma disposição muito próxima do projeto original e se obtém o máximo rendimento para o combustível consumido. Essa disposição das máquinas perdura por semanas ou mesmo meses sem grandes interrupções. Pequenas, indesejáveis e rápidas paralisações podem ocorrer eventualmente, mas o mais freqüente é a troca de equipamentos em funcionamento, para manutenção. Os procedimentos de manutenção para melhor economia de energia incluem, dentre outros, manter ralos e filtros desobstruídos, combustíveis purificados, injetores dos motores operando corretamente e trocadores de calor limpos, além de verificar os melhores ajustes do piloto automático de acordo com as condições de mar e vento.

Entretanto, no final do século XX, foram desenvolvidos dois tipos de navios, os quais, quase nunca, têm uma singradura regular e contínua do ponto de vista da instalação de máquinas. São eles os navios de passageiros (navios de turismo) e as embarcações de apoio marítimo (EAM). As EAM fazem uma pequena travessia entre a base e a plataforma, na máxima velocidade, para depois ficar pairando junto à plataforma ou nas suas proximidades, ou iniciar um reboque. Os navios de turismo, de modo semelhante, fazem uma travessia de algum porto até um paradisíaco local turístico desprovido de embarcações de apoio portuário, com a velocidade da travessia variando em função de vários fatores, horários das atrações turísticas em especial.

A velocidade econômica desses navios, se é que existe, não é um dado pertinente ao planejamento da empresa. São os fatores comerciais que imperam.

Desse modo, as máquinas das EAM e dos navios de turismo (“liner”) passaram a ser exigidas de um modo muito similar aos ferries descritos em outro capítulo. É um desenvolvimento lógico que as máquinas das EAM e dos “liner” também acompanhassem os projetos desenvolvidos para os ferries. Todas essas máquinas devem operar de modo a ser obtido o melhor rendimento. Por isso o gerenciamento de toda a energia consumida a bordo vem se tornando um assunto do momento.

Assim sendo, hoje em dia temos, pelo menos, três tipos de navios em que a instalação de máquinas é submetida a freqüentes variações: os “liner”, as EAM e os ferries. Desse modo o operador da instalação de máquinas deve procurar a melhor configuração em cada situação. Nos navios de propulsão elétrica, com vários MCPs, a busca pela otimização se torna mais complexa, especialmente se considerarmos as variáveis eventuais como avarias nas máquinas acionadoras, ou mesmo pequenas restrições na potência que pode ser debitada.

Entenda-se por configuração as modificações que o operador pode fazer na instalação, tais como a quantidade de geradores “em barra” ou a origem da fonte de calor para aquecedores de combustível e destiladores.

5 CONCLUSÃO

O estudo da propulsão tem se tornado a cada dia mais importante tendo em vista as exigências de conservação de energia (redução e otimização do consumo de energia), atendimento de desempenho pré-estabelecido, controle de poluição, entre outros.

Os altos preços de combustíveis e a crescente pressão para a redução de emissões poluentes estão favorecendo a adoção mais ampla de propulsão elétrica a diesel para diversas classes de navios offshore.

Vantagens significativas sobre sistemas mecânicos diretos convencionais são mencionadas em relação à propulsão elétrica no acionamento de navios de suporte offshore e apoio portuário, que tipicamente operam em condições adversas e cujo consumo de potência pode variar de um minuto para o outro.

Conforme proposto no escopo deste estudo, inicialmente foram apresentados os novos conceitos e as modernas tecnologias que viabilizaram a aplicação da Propulsão Elétrica em embarcações. Os avanços na área de Eletrônica de Potência proporcionaram um acentuado desenvolvimento nos acionamentos eletrônicos de motores elétricos, especialmente no caso dos motores não convencionais empregados na Propulsão Elétrica de navios.

Os benefícios trazidos pelo sistema de propulsão elétrica são a melhoria do ciclo de custos através da redução de consumo de combustível e de manutenção, a reduzida vulnerabilidade a falha única, menor uso de espaço e melhor uso de carga na embarcação, graças à maior flexibilidade na disposição dos elementos do maquinário; sedo que os propulsores podem ser localizados independentemente dos movimentadores primários, já que eles recebem a potência por cabeamento; a redução do ruído e da vibração a bordo, gerados pelos drives de velocidades variáveis dos motores de propulsão.

Os motores com menor emissão de diesel funcionam de forma melhor e com uma combustão mais limpa em sistemas de propulsão elétrica.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>. Acesso em: 09/05/2009

ARPIAINEN, M.; Juurmaa, K.; Laukia, K.; Niini, M.; Jarvinen, K., Noble, P., Naval Architecture of Electric Ships – Past, Present and Future, SNAME Transactions, Vol. 101, pp. 583-607, 2003.

CNO EXECUTIVE BOARD. *Executive Summary Roadmap to an Electric Naval Force*, Naval Research Advisory Committee, 2001.

DOYLE, T., J., STEVENS, H., O., ROBEY, H., *An Historical Overview of Navy Electric Drive*, Naval Symposium on Electric Machines Warfare Center, Annapolis Detachment, 1999.

FRAGOSO, Otávio; Cajaty, Marcelo. *Rebocadores Portuários*. Conselho Nacional de Praticagem. Rio de Janeiro. 2002.

FREIRE, P., R., M., FERREIRA, C., L., “Propulsão Elétrica – Histórico e Perspectivas Futuras”, *20º Congresso Nacional de Transporte Marítimos, Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2004*, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA, 2004

HANSEN, J.F.; LYSEBO, R., Electric Propulsion for LNG Carriers. LNG Journal, pp. 12, Setembro, 2004.

HODGE, C., G., MATTICK, D., J., “The Electric Warship II”, *Transactions IMarE*, Vol. 109, Part 2, pp. 127-144, 1997.

MCCOY, T., J., 2002, “Trends in Ship Electric Propulsion”, *Power Engineering Society Summer Meeting*, Vol. 1, pp. 343-346, IEEE.

NEWELL, J., M., YOUNG, S., S., 2000, “Beyond Electric Ship”, *Transactions IMarE*, Vol. 112.

PEREIRA, N., N., BRINATI, H., L., “Estudo do Impacto da Propulsão Diesel-Elétrica Na Emissão de Gases Poluentes”, *22º Congresso Nacional de Transporte Marítimos, Construção*

Naval e Offshore – EXPONAVAL 2006, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA, 2006.

SOLER, A.L.R.; MIRANDA, S. L. C., Sistema Elétrico de Propulsão Naval. Relatório Final, EPUSP, 2005.

WHITMAN, E., C., “The IPS Advantage. Electric Drive: A Propulsion System for Tomorrow’s Submarine Fleet?”, *Seapower Magazine*, Jul. 2001.

WATSON, G. O. *Marine Electrical Practice (Marine Engineering Series)*. 6ª edição. Book News Inc. New York. 1991. ISBN: 0750610131.