

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE – EFOMM**

PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES

Por: Pedro Victor Barbosa Rodrigues de ASSIS

Orientador

CMG Refº Eden Gonzalez IBRAHIM

Rio de Janeiro

2011

**CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE – EFOMM**

PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Nautica (FONT) da Marinha Mercante.

Por: Pedro Victor Barbosa Rodrigues de Assis

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE – EFOMM

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

AGRADEÇO primeiro a Deus, que se não fosse a fé que tenho por Ele, seria em vão todo este meu trabalho. Ele que me auxiliou em momentos de crise e desespero nunca me desamparando; A todos os meus amigos, ficaria difícil enumerar todos e aos meus familiares que nunca deixaram que eu desistisse que eu desistisse.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Pedro e Dercília, minhas irmãs Ana Paula, Luciana, Sandra e Isabella, meu cunhado Jader e minha namorada Clara por tudo que fizeram e sempre acreditarem em mim, com carinho.

RESUMO

Inicialmente este trabalho apresenta os novos conceitos e as modernas tecnologias que viabilizaram a aplicação da Propulsão Elétrica, em navios. Os capítulos iniciais desta dissertação foram introduzidos para fornecer o conhecimento inicial básico sobre a Propulsão Elétrica em Navios.

Esta monografia tem como objetivo trazer ao leitor informações úteis a respeito das diversas formas sob as quais a propulsão elétrica se apresenta. A evolução dos meios de propulsão é inevitável e essa evolução é retratada desde seu ponto de partida, um modelo utilizado por pouquíssimas embarcações, até chegar aos dias de hoje, um padrão industrial.

Este trabalho mostra as necessidades de cada cenário no qual a propulsão elétrica mostra seu real valor, principalmente em embarcações de suporte marítimo, rebocadores e até transatlânticos de luxo.

São detalhadas as duas formas sob as quais a propulsão elétrica pode se apresentar: por corrente contínua e por corrente alternada, principalmente pelo surgimento da tecnologia *Azipod*. Com o profundo estudo desta tecnologia é possível obter melhores resultados, substituindo o antigo pelo novo, reduzindo os custos com manutenção, o espaço reservado às instalações da praça de máquinas e finalmente melhorando as condições de trabalho e o conforto da tripulação e dos passageiros.

ABSTRACT

Initially this work presents new concepts and modern technologies that made possible the application of electric propulsion in ships. The initial chapters of this thesis were introduced to provide the initial knowledge base on the Electric Propulsion of Ships.

This study aims to bring the reader useful information regarding all the different forms under which electrical propulsion could present itself. The evolution of propulsion systems is inevitable and this evolution is pictured from its beginning, a model that was used by relatively few ships and today is an industrial standard.

This work shows the needs of each scenario on which the electrical propulsion shows its real value, mainly in supply vessels, tug boats and even luxury passenger ships.

The two types of electrical propulsion are presented: continuous current electrical propulsion and alternating current electrical propulsion with Azipod technology. With the deep understanding of all these technologies it is possible to get better results, replacing the old by the new one, reducing maintenance costs, cutting down on the space reserved to the engine room installations and ultimately improving the work conditions and the comfort for both the crew and the passengers.

ÍNDICE DE FIGURAS

1-Figura 1- USS “Jupiter”.....	13
2-Figura 2- USS “Langley”	14
3-Figura 3- USS “New Mexico”	14
4-Figura 4- Motor de indução avançado (AIM)	16
5-Figura 5- Motor de indução avançado (AIM) comparado a uma pessoa	16
6-Figura 6- Motor síncrono com material supercondutor em alta temperatura...	17
7-Figura 7- Motor HTSAC (5MW – 230 rpm).....	17
8-Figura 8- Protótipo do motor homopolar como material supercondutor em CC.....	18
9-Figura 9- Sistema de acionamento elétrico integrado	20
10- Figura 10- Diagrama em blocos de um sistema de propulsão elétrica.....	21
11- Figura 11- Tecnologias para a propulsão elétrica em testes no ESTD	23
12- Figura 12- Consumo de combustível	25
13- Figura 13- Distribuição dos equipamentos na praça de máquinas.....	26
14- Figura 14- Emissão de gases na atmosfera.....	30
15- Figura 15- Motor elétrico com avaria no coletor	33
16- Figura 16- Deposição de liga de níquel nas teclas de um coletor	33
17- Figura 17- Instalação básica do sistema Azipod e da planta de geração de energia.....	38
18- Figura 18- Arranjo de propulsão Azipod duplo	39
19- Figura 19- Propulsor CRP.....	40
20- Figura 20- Propulsor compacto.....	40

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO I - Propulsão elétrica nos navios mercantes	12
1.1- Motivação do estudo.....	12
1.2- Histórico sobre a propulsão elétrica	13
CAPÍTULO II - Propulsão elétrica X Propulsão mecânica	19
2.1- Comparação entre a propulsão elétrica e a mecânica	19
2.2- Aspectos relevantes na escolha do arranjo de propulsão elétrica.....	21
CAPÍTULO III - Vantagens da propulsão elétrica	25
3.1- Redução do consumo de combustível	25
3.2- Redução da tripulação	26
3.3- Flexibilidade do projeto.....	26
3.4- Aumento da capacidade de sobrevivência do navio	27
3.5- Aumento da vida útil do navio	27
3.6- Redução dos custos de manutenção.....	28
3.7- Redução da emissão de poluentes	29
3.8- Redução da assinatura acústica.....	30
CAPÍTULO IV - Tipos de propulsão elétrica.....	32
4.1- Propulsão por corrente contínua	32
4.1.1- Desgaste e manutenção básica.....	33
4.1.2- Conclusão	34
4.2- Propulsão por corrente alternada	34
4.2.1- Propulsão elétrica com retificador e inversor	35
4.2.2- Conclusão	36
CAPÍTULO V - Propulsão <i>Azipod</i>	37
5.1- Aspectos ambientais	37
5.2- <i>Azipod</i> a bordo	38
5.3- Arranjos possíveis.....	39
5.3.1- Arranjo simples e duplo.....	39
5.3.2- Propulsão CRP.....	40
5.3.3- Sistema compacto	40
5.3.4- Sistema de governo.....	41

5.3.5- Sistemas secundários	42
5.3.6- Conclusão	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

INTRODUÇÃO

O navio militar 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.

Um dos aspectos mais significativos no projeto de um novo navio militar é o método de propulsão que será empregado. A propulsão convencional mecânica está perdendo mercado em virtude da história de sucessos, ao longo dos últimos 30 anos, da aplicação da Propulsão Elétrica.

A propulsão realizada pelo acionamento elétrico já é padrão para navios comerciais de cruzeiro e, nas Marinhas dos Estados Unidos e do Reino Unido, já há consenso que ela terá também papel decisivo para propiciar que os objetivos da futura Frota Naval Elétrica sejam alcançados.

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, em especial navios militares, possam se beneficiar das vantagens associadas à Propulsão 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 Elétrica estará pronta para embarcar nos navios militares 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.

CAPÍTULO I

PROPULSÃO ELÉTRICA NOS NAVIOS MERCANTES

1.1- MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

A utilização da Propulsão Elétrica vem se difundindo fortemente nos diversos setores da indústria marítima, e está se estabelecendo como uma das melhores e mais atrativas opções para promover a redução dos custos operacionais, tão desejada neste ambiente altamente competitivo.

Inicialmente adotada em projetos de quebra-gelos e navios especializados, a Propulsão Elétrica tem conquistado novos mercados. Ela já é padrão nos mais modernos navios comerciais de cruzeiro, como o “Transatlântico Queen Mary II.”.

Por outro lado, diversas Marinhas do mundo também se voltam para a Propulsão Elétrica na busca de alternativas de projeto que tornem seus navios mais preparados para as atividades militares, adaptando-se à nova realidade, quase unânime em nível global, de restrição orçamentária na área de defesa. A Marinha Americana (USN) e a Inglesa (RN) saíram na frente e investem elevados recursos na pesquisa e construção de novos navios de superfície com propulsão efetuada pelo acionamento elétrico.

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.

Outro fato que colabora para a intensiva necessidade da eletricidade disponível a bordo é a crescente demanda por energia elétrica, que nos dias atuais, dependendo da finalidade do meio naval, pode alcançar valores da ordem de 100 MW.

No futuro, graças aos avanços na área de Eletrônica de Potência, os sistemas elétricos dos navios serão totalmente diferentes daqueles existentes nos dias atuais. Pode-se

concluir que, devido aos contínuos sucessos obtidos, os sistemas elétricos terão cada vez mais, um papel de destaque nos futuros sistemas navais dos novos meios de superfície que irão compor a Força Naval Elétrica.

1.2- HISTÓRICO SOBRE A PROPULSÃO ELÉTRICA

A propulsão de navios e submarinos utilizando motores elétricos não é uma inovação tecnológica recente. A primeira aplicação de propulsão elétrica no setor naval ocorreu no século XIX, com a construção e operação de uma pequena lancha movida a baterias para o transporte de passageiros na Rússia.

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” (Fig. 1), foi implementada uma instalação experimental com 4.1 MW de potência instalada por eixo.

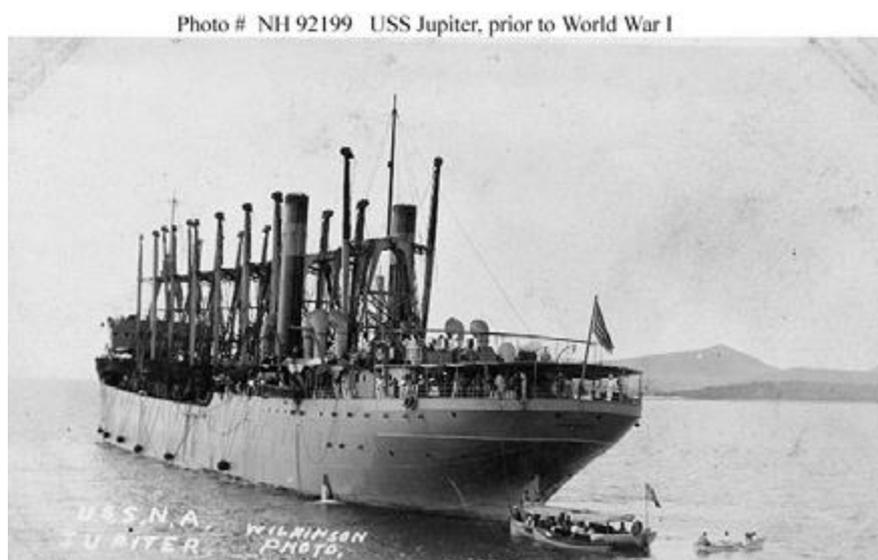


Fig. 1: USS “Jupiter” .

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 navio aeródromo da Marinha Americana, chamado USS “Langley” (Fig. 2). O navio apresentou uma elevada robustez e permaneceu em plena capacidade operativa até 1942, quando foi afundado em combate.



Fig. 2: USS “Langley” .

O sucesso obtido na utilização da propulsão 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” (Fig. 3) com 30 MW de potência instalada, o segundo e o terceiro navios aeródromo da Marinha Americana, USS “Lexington” e USS “Saratoga”, com potência instalada de 135 MW.



Fig. 3: USS “New Mexico”.

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 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 elétrica durante o período bélico.

Entretanto, 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 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.

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 elétrica em diversas classes de navios, como quebra-gelos, oceanográficos, tanque e numerosos transatlânticos.

Atualmente, as pesquisas para a definição das melhores alternativas de tecnologia envolvendo propulsão 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.

A Marinha Americana investe elevados recursos financeiros em quatro frentes de pesquisa em motores para a propulsão:

- Motores de Indução;
- Motores Síncronos de Imãs Permanentes;
- Motores Síncronos com materiais supercondutores em alta temperatura e;
- Motores Homopolares em Corrente Contínua (CC).

O motor de indução multifásico (15 fases) oferece um *design* robusto e elevada densidade de potência elétrica (Fig. 4 e Fig. 5). Este tipo de motor já foi escolhido para ser utilizado pela Marinha Inglesa, em seu navio de escolta (Contratorpedeiro “Type 45”).

Conforme as informações de Clive Lewis no documento da referência, o Motor de Indução Avançado (AIM) encontra-se em fase final de comissionamento, e com resultados bastante promissores.



Fig. 4: Motor de Indução Avançado (AIM).



Fig. 5: Motor de Indução Avançado (AIM) comparado a uma pessoa

Os motores síncronos de ímãs permanentes, quando comparados com os motores de indução de mesmo tamanho, possuem maior densidade de potência elétrica e menor nível de ruído acústico. Este tipo de motor já foi escolhido para ser empregado nos novos navios combatentes multi-missão de superfície da Marinha Americana.

Os motores síncronos com materiais supercondutores em alta temperatura (HTSAC) apresentam significantes reduções no volume e peso, quando comparados com os motores elétricos convencionais, devido às suas bobinas supercondutoras com elevados níveis de densidade de corrente elétrica (Fig. 6 e Fig. 7). Este tipo de motor apresenta a densidade de potência elétrica cerca de cinco vezes maior do que aquela encontrada em motores convencionais de mesmas dimensões físicas. Outra característica deste motor é o reduzido nível de ruído e a elevada eficiência (devido à redução das perdas elétricas no rotor), particularmente em situações com velocidade reduzida e demandas parciais de cargas. Conforme as informações de Bobby A. Bassham, no documento da referência, as pesquisas com este tipo de motor estão sendo desenvolvidas pela empresa “American Superconductor Corporation” - (AMSC).



Fig. 6: Motor Síncrono com material supercondutor em alta temperatura



Fig. 7: Motor HTSAC (5 MW – 230 rpm).

Os motores homopolares com materiais supercondutores em corrente contínua (CC) (SDCHM) também utilizam bobinas confeccionadas com materiais supercondutores em seu rotor e apresentam peso e volume reduzidos e estratégias de controle menos complexas (Fig. 8). Conforme as informações de Bobby A. Bassham, no documento da referência, as pesquisas com este tipo de motor estão sendo desenvolvidas pela empresa “General Atomics Corporation”.

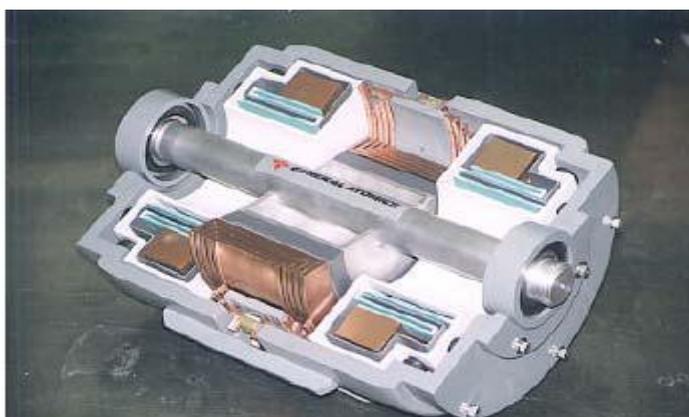


Fig. 8: Protótipo do Motor Homopolar com Material Supercondutor em CC

CAPÍTULO II

PROPULSÃO ELÉTRICA x PROPULSÃO MECÂNICA

2.1- COMPARAÇÃO ENTRE A PROPULSÃO ELÉTRICA E MECÂNICA

Segundo as informações de Whitman E. C., no documento da referência, o conceito de Propulsão 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 atrás.

Entende-se por Propulsão 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.

No Sistema de Propulsão 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 Elétrica visa basicamente à integração entre o sistema de potência da propulsão do navio com os sistemas auxiliares (Fig. 9). E com a eletrificação dos sistemas auxiliares, abre-se a possibilidade de utilização de estruturas modulares com maior flexibilidade para expansões futuras.

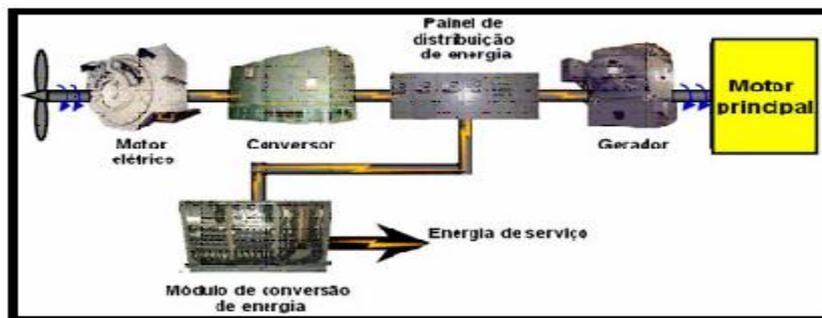


Fig. 9: Sistema de Acionamento Elétrico Integrado.

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 diesel gerador 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.

A Propulsão 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.

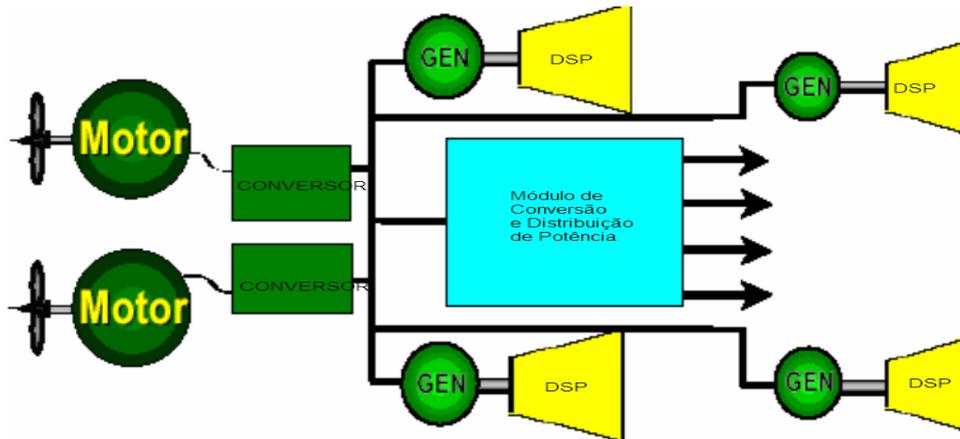


Fig. 10: Diagrama em blocos de um Sistema de Propulsão Elétrica.

No sistema de Propulsão Elétrica 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 militar 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.

2.2- ASPECTOS RELEVANTES NA ESCOLHA DO ARRANJO DE PROPULSÃO ELÉTRICA

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.

Existem 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).

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

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).

A atual tendência de emprego da propulsão elétrica para os novos meios a serem construídos foi verificada nas duas mais importantes Marinhas do cenário militar mundial: a Americana e a Inglesa.

O Reino Unido juntamente com Estados Unidos e a França estão financiando o alto custo de desenvolvimento e diluindo os riscos em um projeto conjunto, denominado ESTD (“Electric Ship Technology Demonstrator”). O ESTD é uma base terrestre para testes de uma planta propulsora elétrica projetada para movimentar um navio militar.

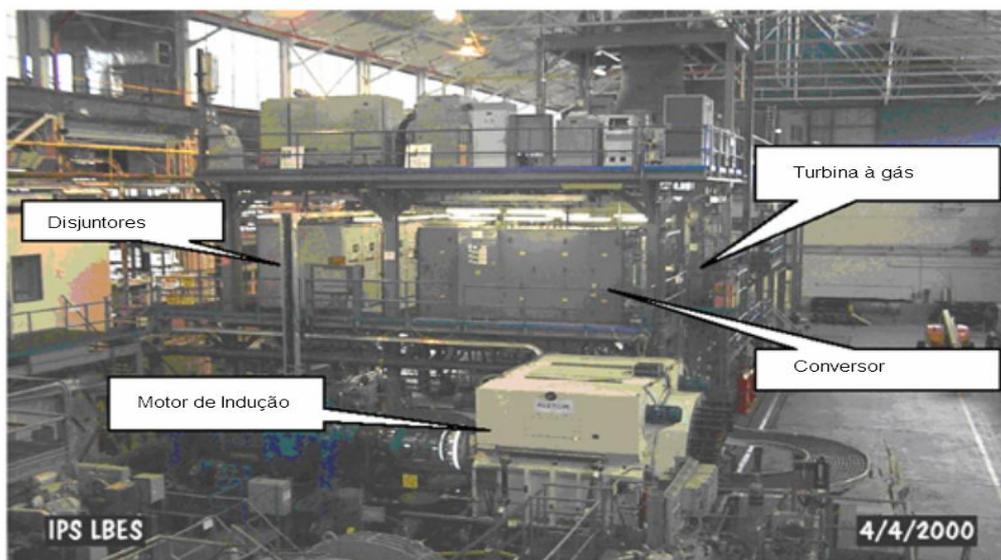


Fig. 11: Tecnologias para a Propulsão Elétrica em testes no ESTD.

O trabalho está sendo elaborado com enfoque principal no custo de vida útil, de forma a evitar a abordagem usualmente empregada que consiste em minimizar os custos de obtenção iniciais à custa de altas despesas de manutenção e modernização ao longo do período operativo do navio. O conhecimento técnico obtido com a modelagem e a simulação dos equipamentos e sistemas permitirá a entrada em funcionamento em prazos menores e com melhor controle das potencialidades e dos riscos envolvidos.

O objetivo do programa é demonstrar através da realização de uma bateria de testes, no protótipo desenvolvido, que as avançadas tecnologias de Sistemas de Propulsão Elétrica irão atender as características operativas dos futuros navios militares, e desta forma,

auxiliar na configuração definitiva dos sistemas e na validação dos modelos computacionais que poderão servir no futuro para o projeto e a construção destes novos meios.

O sucesso obtido com este projeto acentuou o interesse de diversas outras Marinhas em conhecer os benefícios do “Integrated Full Electric Propulsion” (IFEP), ou seja, das tecnologias que propiciam a Propulsão Elétrica Integrada.

CAPÍTULO III

VANTAGENS DA PROPULSÃO ELÉTRICA

3.1- REDUÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

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.

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, a Marinha Americana estimou a eficiência energética em aproximadamente 17% melhor que em relação à propulsão convencional mecânica.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada em, 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 (Fig. 12).

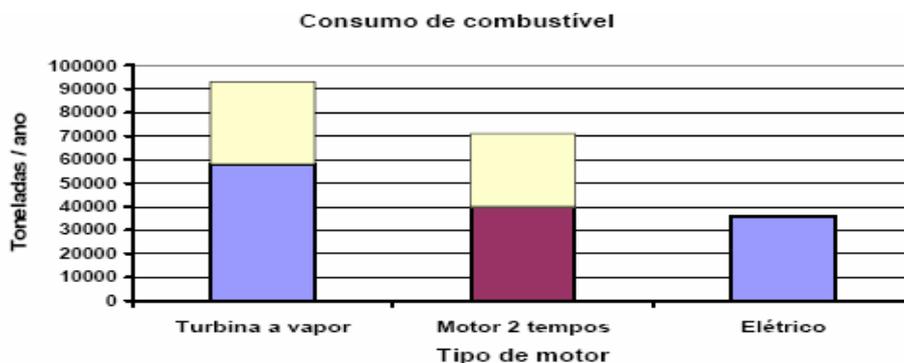


Fig.12 Consumo de combustível

3.2- REDUÇÃO DA TRIPULAÇÃO

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.

3.3- FLEXIBILIDADE DO PROJETO

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.

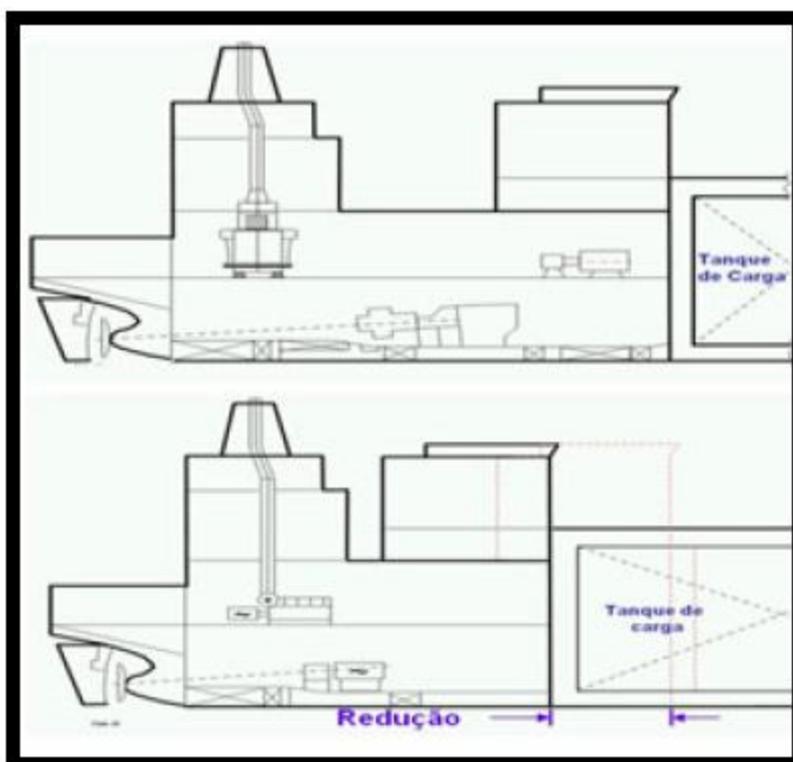


Fig. 13 – Distribuição dos Equipamentos na Praça de Máquinas.

Observa-se na Fig. 13 um ganho no espaço destinado ao transporte de cargas reposicionando a máquina diesel no convés superior, e desta forma, reduz-se o volume ocupado pelos dutos de admissão e exaustão dos motores.

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.

3.4- 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. Conseqüentemente 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.

3.5- AUMENTO DA VIDA ÚTIL DO NAVIO

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.

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.

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.

3.6- REDUÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

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.

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.

3.7- REDUÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES

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.

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.

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.

De acordo com a linha de pesquisa apresentada, a Fig. 14, apresenta claramente que a Propulsão Elétrica gera menos gases poluentes que os sistemas convencionais (que operam somente com turbinas a vapor ou motores diesel), pois o motor diesel opera constantemente no ponto ótimo de projeto, o que proporciona uma redução no consumo de

combustível e conseqüentemente uma menor liberação de gases poluentes (ex: CO₂ - Dióxido Carbônico, NO_x – Óxido de Nitrogênio e SO_x – Óxido de Enxofre) durante as operações. É interessante destacar que o modelo utilizado na pesquisa considerou também a geração de gases durante a operação portuária e tempos com o navio parado durante as viagens.

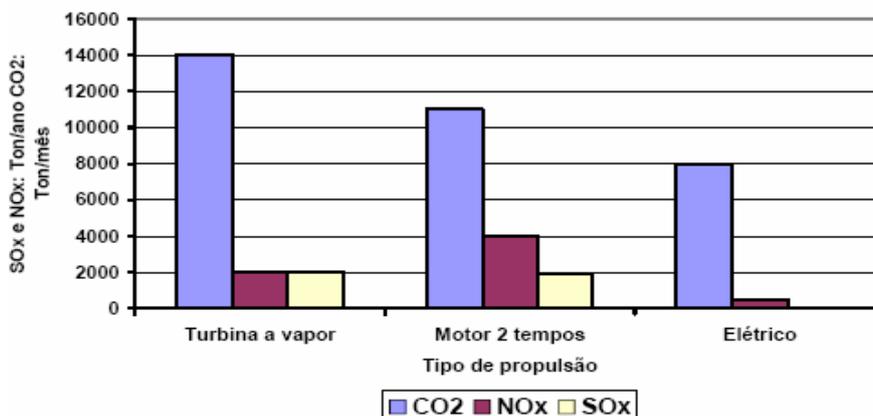


Fig. 14: Emissões de Gases na Atmosfera.

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.

3.8- REDUÇÃO DA ASSINATURA ACÚSTICA

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.

E à medida que os sistemas e equipamentos que atualmente são mecânicos forem substituídos pelos elétricos, ocorrerá à diminuição da assinatura acústica total emitida.

CAPÍTULO IV

TIPOS DE PROPULSÃO ELÉTRICA

4.1- PROPULSÃO POR CORRENTE CONTÍNUA

As primeiras embarcações com propulsão elétrica em CC datam do início do século XX, rebocadores de alto mar que, na sua maioria, eram destinados ao socorro e salvamento e formaram a base tecnológica para o que hoje são nossas Embarcações de Apoio Marítimo (EAM).

A propulsão convencional possui uma série de desvantagens para as EAM. Em baixas rotações, MCPs tendem a ter um consumo de combustível muito maior, além de o motor carbonizar mais rapidamente já que todo esse combustível não é queimado por completo. Em rotações muito baixas, equivalente a menos de 5 nós, o MCP simplesmente “morre”. A solução consiste em partir o MCP e pará-lo logo em seguida, manobra limitada pela capacidade de armazenamento das ampolas de ar para partidas sucessivas, o que pode variar de dez a quinze vezes. Após o consumo da carga das ampolas, muitas embarcações precisavam ficar “boiando” enquanto seus compressores as recarregavam.

O sistema de propulsão elétrica em CC também possui vários problemas, descritos a seguir, mas mesmo assim era adotado como solução para as operações das EAM que visavam além de tudo, alta manobrabilidade. Algumas empresas ainda operam navios com essa tecnologia.

O sistema era na época considerado de alta manobrabilidade. Era possível realizar ajustes fino na rotação dos hélices propulsores conforme a necessidade da situação, RPM por RPM, a partir do zero.

A regulação era realizada em Controles, que consistiam basicamente em chaves

manuais e reostatos. A aceleração era obtida aumentando a corrente de excitação no campo dos MEPs pela redução da resistência em seus reostatos de campo.

O tempo de resposta de um motor com escovas varia muito de acordo com o tamanho do motor. Um motor de 4.000KW leva aproximadamente sete segundos para parar, o que para os padrões da época não era ruim, mas atualmente é considerado lento.

4.1.1- DESGASTE E MANUTENÇÃO BÁSICA

O atrito entre as escovas e o coletor é inevitável e provoca desgaste da escova e a formação de centelhas, pequenas no início (*small spark*), mas que intensificam o processo. Conforme as centelhas aumentam (*large sparks*), o calor também aumenta e esse excesso de calor pode destruir totalmente o material isolante entre as teclas e entre as teclas e o eixo o que em último estágio causará curtos circuitos.

Como o uso contínuo e as grandes variações de corrente durante manobras provocam desgaste acelerado tanto das escovas quanto dos coletores, os motores normalmente vem equipados com janelas de inspeção onde o centelhamento e o tamanho das escovas pode ser observado. Quando o centelhamento é intenso, deve-se parar imediatamente o MEP para manutenção.

A limpeza do coletor deve ser realizada com materiais não abrasivos e não condutores e de forma cuidadosa para não avariar o material isolante que separa as teclas. As teclas que sofreram um desgaste excessivo devem ser recobertas com liga de níquel e, após análise, as escovas que tiverem sofrido um maior desgaste também devem ser substituídas.



Fig. 15 Motor elétrico com avaria no coletor



Fig. 16 Deposição de liga de níquel nas teclas de um coletor

É necessário que o calor gerado pela comutação e o calor dos campos da máquina sejam dissipados, o que normalmente era feito em motores antigos por ventoinhas acopladas aos seus eixos, por essa razão não podiam ser enclausurados como os modernos motores atuais. Sendo abertos, tais MEPs recebem grandes quantidades do pó produzido pelas escovas, umidade e poeira da praça de máquinas além de corpos estranhos. Esse imenso número de partículas de carbono aumenta a vulnerabilidade e diminui a resistência de isolamento nos campos.

4.1.2- CONCLUSÃO

Vantagens

Alta manobrabilidade para a época devido a possibilidade de ajustar precisamente a variação da rotação do eixo propulsor, resultando em fainas de socorro mais seguras para as antigas embarcações de socorro e salvamento.

Desvantagens

A manutenção das máquinas elétricas era freqüente, muito cara e complexa, devido aos problemas da comutação elétrica entre as escovas e o coletor e ao fato dos motores não serem enclausurados para fins de melhorar a ventilação.

4.2- PROPULSÃO POR CORRENTE ALTERNADA

Motores de propulsão elétrica por corrente alternada (AC) começaram a surgir na indústria naval no final da década de 50, mas só foram se popularizar na década de 80. A crescente demanda por potência fez com que os sistemas baseados em corrente contínua tivessem seus dias contados, pois o peso e o tamanho dos MEP e dos GEP aumentava significativamente conforme sua potência subia fazendo com que a corrente nas escovas de comutação atingisse níveis inaceitáveis.

Após a crise do petróleo da década de 70 e do fechamento do Canal de Suez, gigantes navios tanque começaram a ser usados para transportar petróleo do Oriente Médio para portos europeus. Devido ao seu tamanho os donos de tanques requeriam embarcações de apoio capazes de manobrar em águas cada vez mais restritas. A solução encontrada na época

foi o Sistema Schottel, que resolvia o problema não com propulsão elétrica, mas com hélices montadas em um conjunto que podia ser movimentado em azimute, fornecendo a manobrabilidade requerida e dispensando o leme de uma forma semelhante ao que hoje temos modernamente como propulsão *Azipod*.

4.2.1- PROPULSÃO ELÉTRICA COM RETIFICADOR E INVERSOR

O sistema de propulsão elétrica com retificador e inversor consiste de componentes eletrônicos que tornam possível a modulação precisa da onda que é enviada ao motor.

Nesse sistema a energia em corrente alternada produzida pelos grupos geradores (diesel-gerador, turbo-gerador, ou qualquer outro) é primeiramente retificada pelos grupos retificadores, o que a transforma em corrente contínua. Essa corrente contínua é modulada por um inversor para atingir a amplitude e a frequência desejada, que pode ser aumentada ou reduzida fazendo com que o campo induzido acelere ou atrase.

A maioria dos inversores utilizam *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT's) para ligação dos enrolamentos, que são transistores bipolares com facilidade de acionamento e com pequenas perdas, permitindo operação em alta frequência para correntes na faixa de algumas dezenas de amperes.

O processo de modulação é realizado de acordo com a resposta do rotor, o que é acompanhado por um sensor de posição que mostra exatamente em que ponto o rotor está em relação ao estator.

O sensor de posição é hoje o inconveniente do sistema. A mão de obra é especializada e o equipamento é de difícil acesso, o que gera um custo de manutenção muito alto.

Atualmente a maior barreira a ser vencida na propulsão por corrente alternada é a construção de motores sem o sensor de posição, ou com um sensor cuja manutenção seja viável.

4.2.2- CONCLUSÃO

Foram demonstradas neste capítulo as razões que levaram ao rápido desenvolvimento da propulsão elétrica. Atualmente é comum encontrar motores de partida direta e com partida estrela-triângulo praticamente em qualquer direção que se olhe, mas na área naval o sistema que prevaleceu foi a propulsão com retificadores e inversores devido a suas inúmeras vantagens, que incluem:

- Alta manobrabilidade;
- Longa vida útil por não possuir partes eletromecânicas móveis; e
- Não existem limitações quanto ao número de manobras.

CAPÍTULO V

PROPULSÃO AZIPOD

Azimuthing Podded Drive, a propulsão AZIPOD®, foi criado em 1990. Este sistema usa uma unidade POD com capacidade de rotação em azimute de até 360° e pode atingir uma potência de até 30 MW. Este sistema consiste em unidades de propulsão AZIPOD®, dos ACS “*Series Marine Drive*” e transformadores da propulsão, e dependendo da utilização, pode consistir também de um sistema de controle e o sistema de energia com geradores e quadros elétricos.

Os primeiros navios construídos com a tecnologia eram embarcações turísticas que datavam do início da década de 1990, momento que marcou a evolução da propulsão naval, pois, pela primeira vez, o MEP passou a ficar no POD (*podded drive*) e, portanto, dentro da água. Esse modelo de propulsão pode ser considerado concepção revolucionária se comparado a propulsão convencional.

Seu princípio de operação é a substituição do hélice com eixo fixo por um propulsor que pode mudar seu sentido de atuação dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação, efetivamente tornando desnecessária a utilização de leme para governar. A interação entre a propulsão e a direção é tão boa que é comum observar embarcações manobrando de popa ou mesmo de lado.

Hoje o sistema *Azipod* é empregado em várias espécies de embarcações em arranjos simples, duplos e triplos por trazer relevantes vantagens como excelente capacidade de manobra com ótimo torque e permitir rápida mudança na direção do empuxo do propulsor.

5.1- ASPECTOS AMBIENTAIS

Uma das principais razões para o uso da propulsão AZIPOD® é a baixa emissão de gases. Estudos sobre máquinas de combustão interna comprovam que operando em rotações constantes emitem menos gases tóxicos que os motores operando em velocidades variáveis.

5.2- AZIPOD A BORDO

O sistema *Azipod* consiste das unidades de propulsão, dos “ACS Series Marine Drive”, transformadores (se necessário), o sistema de controle e a planta de geração de energia, onde é necessário empregar vários grupos geradores.

Os geradores em sua imensa maioria são acionados por MCPs, mas pode-se encontrar TGs em algumas embarcações. São necessários vários grupos para que haja redundância, dessa forma é possível parar um gerador em viagem para realizar serviços de manutenção e mesmo assim manter a embarcação em plena operação. Caso todos os grupos geradores sejam idênticos, é possível economizar inclusive minimizando o estoque de peças sobressalentes.

O motor elétrico instalado no POD aciona diretamente um hélice propulsor de passo fixo, sendo capaz de proporcionar o torque total em todas as direções, da mesma forma nas baixas rotações e em rotações maiores que o máximo projetado, o caso de navios quebra gelo.

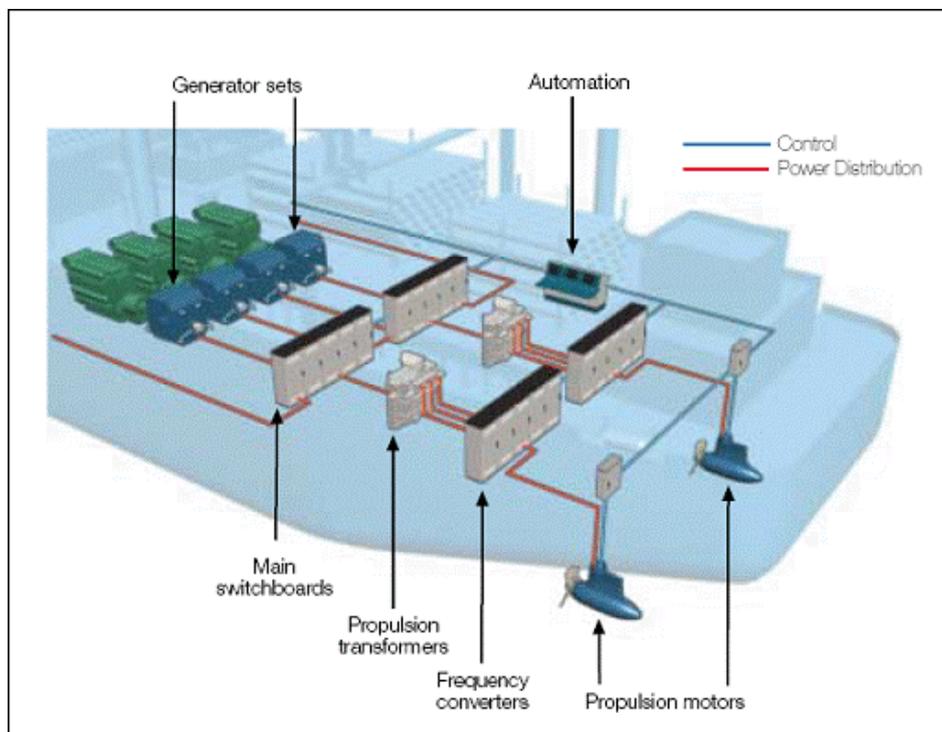


Fig. 17 Instalação básica do sistema *Azipod* e da planta de geração de energia

A propulsão *Azipod* é vantajosa por ter um perfil com baixa emissão de poluentes. Máquinas de combustão interna emitem menos gases quando operadas em rotações constantes quando comparado com velocidades variáveis. Os diesel-geradores operam não só em velocidade constante, mas também na sua melhor faixa de desempenho, logo com mínima descarga para atmosfera, característica muito importante principalmente para embarcações que operam em rotas costeiras, fluviais, amazônicas e inclusive, em proximidade com plataformas. Além disso, a propulsão elétrica é ideal para empregar novas fontes de energia como as células de hidrogênio.

5.3- ARRANJOS POSSÍVEIS

As unidades *Azipod* normalmente são instaladas em arranjos simples, duplos e triplos, atendendo às necessidades básicas de praticamente qualquer embarcação, que também podem ter soluções especializadas, como é o caso da solução CRP *Azipod*, desenvolvida especialmente para embarcações RoRo, ferries e de carga.

5.3.1- ARRANJO SIMPLES E DUPLO

O arranjo simples é mais empregado em navios de carga e navios tanque, por exemplo, já o arranjo duplo é usado em navios de cruzeiro e ferries, muito recomendado nos casos onde é necessária boa capacidade de manobra e alta redundância.



Fig. 18 Arranjo de propulsão *Azipod* dupla

5.3.2- PROPULSÃO CRP

A propulsão CRP (*Contra Rotating Propellers*) é uma solução competitiva para porta containeres de alta velocidade e ferries. Nela as linha de eixo rígida são substituídas por uma linha especial, que permite que dois propulsores sob um mesmo eixo girem em sentidos contrários. A “contra-rotação” garante maior capacidade de manobra e redundância, além de possuir uma eficiência hidrodinâmica muito maior quando comparado a um navio com linha de eixo convencional.



Fig. 19 Propulsor CRP

5.3.3- SISTEMA COMPACTO

A Propulsão *Azipod* Compacta é indicada para uma grande variedade de embarcações com potências que variem entre 0,5 e 4 MW, como iates e pequenos cargueiros. O sistema é modular e simples o que traz benefícios durante a construção, manutenção e operação da embarcação.



Fig. 20 Propulsor compacto

5.3.4- SISTEMA DE GOVERNO

O sistema *Azipod* segue as normas definidas pela Convenção SOLAS, que exigem condições mínimas de manobrabilidade em situações de emergência sendo a rotação horizontal do conjunto acionada por uma máquina hidráulica, exatamente da mesma forma que lemes tradicionais.

O arranjo compreende uma unidade hidráulica por *Azipod*, cada unidade composta de dois motores hidráulicos que fornecem a pressão necessária para fazerem girar em azimute as engrenagens de acionamento do POD através de pinhões em seu eixo. O painel do sistema de governo é instalado na CCM, com repetidoras no passadiço e no compartimento do *Azipod*.

As bombas hidráulicas são acionadas por seus próprios motores elétricos, um deles é alimentado pelo QEP e o segundo pelo QEE. Conectado dessa forma o sistema fica redundante e atende a Convenção SOLAS, pois caso o navio apague o gerador de emergência poderia manter um dos motores em funcionamento, garantindo assim a manobrabilidade em situações de emergência. Outra bomba empregada é a bomba hidráulica de recirculação, responsável por manter o óleo hidráulico circulando entre os tanques das bombas e as tampas dos motores hidráulicos, equilibrando assim a diferença de temperatura. Também conhecida como *flushing pump*, a bomba de recirculação é acionada automaticamente sempre que uma das bombas principais entra em funcionamento.

Durante operação normal emprega-se apenas um conjunto motor-bomba hidráulica por *Azipod*, o segundo conjunto permanece constantemente em *stand-by*. A velocidade com que o *Azipod* gira pode variar de acordo com a operação. Se apenas um conjunto estiver funcionando, ela fica limitada a 2,5° por segundo e caso estejam os dois conjuntos em operação sobe para 5° por segundo, mais ideal para realização de manobras.

Uma terceira velocidade de 7,5° por segundo pode ser utilizada quando se fizer necessário desde que o torque não ultrapasse 2/3 da potência máxima. Em uma eventual falha na bomba hidráulica alimentada pelo QEP, a segunda outra bomba, conectada ao QEE é acionada em poucos segundos, o que garante uma autonomia indeterminada até que a

situação se normalize com a bomba alimentada pelo QEP voltando a operar e a segunda, conectada ao QEE, retornando a stand by.

5.3.5- SISTEMAS SECUNDÁRIOS

Dentre os principais sistemas secundários que compõe o Azipod, pode-se destacar superficialmente os seguintes:

- **Selagem** – realizada através de selos em anel no eixo de giro em azimute e no eixo propulsor, onde são usados para selar os alojamentos dos mancais de escora e do mancal do propulsor. O sistema também inclui selos de óleo, tanques e tanque de gravidade.
- **Lubrificação** – permite operação sem desgaste, falhas ou avarias tanto dos mancais do eixo azimutal quanto do propulsor (sustentação e escora).
- **Drenagem** – sistema utilizado para drenar eventuais vazamentos de óleo ou água para dentro do POD, operando automaticamente e acionando diversos alarmes.
- **Freios e travas** – são opcionais tanto para a rotação do eixo propulsor quando para a rotação azimutal e pode atuar hidráulicamente para evitar movimentos durante trabalhos de manutenção, ou em qualquer outra situação na qual o eixo precise ser mantido travado.

5.3.6- CONCLUSÃO

O sistema de propulsão *Azipod* combinou as vantagens de vários sistemas de propulsão que existiam no mercado até então, dentre elas:

- Alta manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico;
- Elimina a necessidade de longas linhas de eixo, lemes, hélices laterais, hélices de passo variável e engrenagens redutoras;
- O projeto dos cascos passou a poder ser mais simples;
- Melhor distribuição dos espaços de máquinas e carga;
- Níveis de ruído e vibração reduzidos;
- Menor tempo de indisponibilidade, maior segurança, redundância;
- Consumo de combustível eficiente, com custos de manutenção inferiores e redução na emissão de gases; e
- Excelente capacidade de resposta, com torques em qualquer direção permitindo rápida mudança na direção do empuxo do hélice.

Como demonstrado, o sistema *Azipod* oferece diversas vantagens tanto no aspecto econômico quanto no que tange a segurança e por isso vem revolucionando o mercado. Seu custo de aquisição é muito elevado, entretanto vale a pena a longo prazo pois o custo é compensado com a qualidade do serviço oferecido aos clientes e com a tecnologia de última geração utilizada pelos tripulantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto nessa pesquisa, a propulsão elétrica em navios é utilizada há mais de meio século. Percebemos que os antigos sistemas de propulsão eram limitados e com muitas deficiências, que com o passar do tempo foram sendo supridas por novos sistemas junto com novos inconvenientes o que levou a necessidade de aprimoramentos e à tecnologias de propulsão cada vez mais modernas.

A principal vantagem da propulsão elétrica é o aumento da manobrabilidade, por isso o sistema não é muito utilizado por embarcações que fazem grandes travessias e manobram pouco porque não vale a pena pagar um elevado preço pela aquisição de motores elétricos e sistemas azimutais. Essa é a razão pela qual muitos navios, principalmente de longo curso utilizam motores de combustão interna para sua propulsão (o que permite uma navegação durante dias com velocidade constante e próxima a nominal) e preferem pagar pelo auxílio de rebocadores quando for necessário manobrar nos portos.

A propulsão elétrica também abriu novos mercados. Não necessitando mais de rebocadores, navios transatlânticos passaram a poder manobrar melhor em vários pontos turísticos, onde, juntamente com hélices laterais e sistemas de posicionamento dinâmico, inseriram nos roteiros várias localidades que antes não podiam ser visitadas por grandes embarcações.

Percebemos que a busca contínua por melhores resultados nunca se esgota principalmente porque o mercado e a indústria também evoluem. Concluímos que o atual mercado para propulsão elétrica é muito grande, maior ainda com a recente descoberta da camada pré-sal e o promissor futuro que, no Brasil, aguarda principalmente as embarcações de apoio marítimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Código Internacional de Gerenciamento de Segurança (Código ISM)**. Rio de Janeiro: Diretoria de Portos e Costas da Marinha Brasileira. 2001. Disponível em <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em 19/06/2011

IBRAHIM, Édén Gonzalez Ibrahim. Propulsão elétrica de embarcações. Rio de Janeiro:

Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, 2006.

BRASIL. **Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar, (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1978, incorporando todas as emendas até 1997**.

Diretoria de portos e costas da Marinha Brasileira. Rio de Janeiro. 2001. Disponível em: <http://www.dpc.mar.mil.br>. Acesso em: 19/06/2011

DEL PROPOSTO, C. **Der Antrieb von Schiffen durch nichtreversierbare Maschinen**.

Brüssel: Bulletin de la Societe beige d'Electriciens. 1906.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário Aurélio - Século XXI**. São Paulo: Editora Nova Fronteira. 2002.

OEHLERS, Werner. **95 years of diesel-electric propulsion form a makeshift solution to a modern propulsion system**. 2. ed. Helsinki, Finlândia: Norwegian Society of Chartered Engineers, 1998.

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