

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS – APMA

JOSÉ EUDES BARROSO LOURETO

PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA

RIO DE JANEIRO

2016

JOSÉ EUDES BARROSO LOURETO

PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA

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

Orientador: Swami Novaes Chamarelli

RIO DE JANEIRO

2016

JOSÉ EUDES BARROSO LOURETO

PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICA

Trabalho de Conclusão de 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 (a): Swami Novaes Chamarelli

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Essa é uma grande conquista que só foi possível graças ao apoio e esforço de minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todos os desafios e conquistas em minha vida. Em seguida quer agradecer aos meus familiares.

Posteriormente agradeço a Professor Swami Novaes Chamarelli pelas orientações e paciência ao longo do presente trabalho, bem como a todos os professores que foram importantes na minha formação durante o curso de APMA.

Agradeço também a todos os meus amigos de classe, que com conselhos ajudaram a amenizar as dificuldades ao longo do caminho e que juntos conseguimos obter mais um objetivo. E aos meus amigos de infância pelo companheirismo e amor demonstrado. Pois me acompanham há muito tempo, sendo parte de meu sucesso. Amigos da mercante que me ajudaram em momentos de adversidades, vocês também foram importante.

O meu grande obrigado.

"Fazendo a mesma coisa dia após dia, não há de se esperar resultados diferentes."
(Albert Einstein)

RESUMO

O sistema propulsivo de uma embarcação é extremamente importante, pois é responsável por deslocar a embarcação. Buscar um sistema que atende as diversas necessidades é vital. As embarcações de apoio a plataformas em especial, devido à dinâmica de suas operações, necessitam de um sistema seguro, eficiente e econômico. A otimização da propulsão proporciona melhor deslocamento dos navios, melhora o posicionamento dinâmico e estático, diminuição de custo que é um dos principais objetivos dos armadores, ruídos, vibrações e poluição do ambiente. A escolha do sistema de propulsão a ser utilizado está ligado ao contexto geográfico ao qual essa embarcação está inserida, a área de atuação dela e o perfil operacional que são as atividades que a embarcação irá realizar. Esta monografia tem por objetivo abordar o sistema de propulsão diesel elétrica. Destacando principais vantagens, especificações, potências, componentes e as condições recomendadas para o ambiente de operação.

Palavras-chave: Embarcações Offshore. Propulsão Diesel Elétrica. Propulsão elétrica. Propulsores Azimutais.

ABSTRACT

The propulsion system of vessel it is extremely important. Because It is responsible for move the vessel. Search a system which answer this necessities it is vital. Especially offshore vessels, which due to the dynamics of their operations, they need a safe, efficient and economic system. once propulsion optimization leads to better motion, lower costs, noise, vibration and environmental pollution and also improves static and dynamic positioning, cost reduction is the main goal of ship-owners, noise, vibrations and reducing emissions. The choice of propulsion system to be used is connected to the geographical context to which this vessel is inserted, her area of expertise and the operational profile that are the activities that the vessel will perform. This monograph aims to broach the diesel electric propulsion system. Highlighting major advantages, specifications, power, components and recommended conditions for the operating environment.

Keywords: Hybrid Vessels. Diesel Electric Propulsion. Electric Propulsion.
Azimuth Propeller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de PSV – PSV CBO Atlântico	12
Figura 2: Exemplo de AHTS - AHTS FAR Santana	13
Figura 3: Layout da Propulsão Diesel Elétrica	15
Figura 4: Esquema de funcionamento gerador elementar armadura girante	17
Figura 5: Foto de um QEP instalado na CCM de uma embarcação de apoio marítimo	18
Figura 6: Compartimento do QEP de um navio de turismo	19
Figura 7: Diagrama de uma planta de propulsão elétrica com 4 GEPs	21
Figura 8: Esquema de um Transformador	22
Figura 9: Bloco esquemático do <i>start soft</i>	26
Figura 10: Gráfico comparativo entre passo fixo e variável em relação Potência X empuxo	27
Figura 11: Exemplo de passo fixo e variável	28
Figura 12: Exemplo de Hélices contra rotativas	29
Figura 13: Exemplo de Twin Propeller	30
Figura 14: Exemplo de Z-drive e L-drive	31
Figura 15: Exemplo de AZIPOD	32

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

DP-	<i>Dynamic Position</i> (Posicionamento Dinâmico)
AHTS -	<i>Anchor Handling Tug Supply</i> (Navio de manuseio de âncora)
MCP –	Motor de Combustão Principal
MCA –	Motor de Combustão Auxiliar
f –	Frequência
p –	Número de Pólos
n –	Rotação
QEP –	Quadro Elétrico Principal
MEP -	Motor Elétrico de Propulsão
GEP –	Gerador Elétrico de propulsão
N –	Número de Espiras
η -	Rendimento do Transformador
IGBT –	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
CC –	Corrente Contínua
CA –	Corrente Alternada
PTNR -	Partida direta não reversível
CPP –	<i>Controlled Pitch Propeller</i> (Hélice de passo controlável)
FPP –	<i>Fixed Pitch Propeller</i> (Hélice de passo fixo)
CRP –	<i>Contra Rotation Pod</i> (Hélices Contra rotativas)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	Navios de apoio a plataforma	12
2.1	Navios PSV	12
2.2	Navios AHTS	13
3	MOTORES DIESEL	14
3.1	Motores de combustão principal e motores auxiliares	14
4	ELEMENTOS DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO	15
4.1	Grupos geradores a diesel	16
4.2	Quadro elétrico principal	18
4.2.1	As vantagens de se utilizar quadros elétricos	20
4.3	Barramento principal	20
4.3.1	Barramento separado	21
4.4	Transformadores	21
4.4.1	Rendimento do transformador	22
4.5	Inversor de frequência	22
4.6	Motores elétricos	23
4.6.1	Motor de indução trifásico	24
4.6.2	Formas de partidas dos motores elétricos	25
5	PROPULSORES ESPECIAIS ELÉTRICOS	27
5.1	Hélice de passo controlável (CPP)	27
5.2	Hélice de passo fixo (FPP)	27
5.3	Hélices duplas	28
5.3.1	CRP Azipod	28
5.3.2	STP Twin Propeller	29
5.4	Azimutais	30
5.4.1	POD e AZIPOD	31
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

Com o Surgimento da eletricidade também surgiram os motores elétricos. A eletrônica de potência proporcionou o aperfeiçoamento da propulsão elétrica, que vem sendo aprimorada, com o objetivo de solucionar as necessidades que vão aparecendo, por exemplo, o posicionamento dinâmico, a redução do consumo de combustíveis fósseis, a redução da poluição e dos ruídos, dentre outras. Pequenas variações no aumento da eficiência podem parecer desprezíveis, entretanto, devido ao consumo elevado de potência nos motores marítimos, este incremento de eficácia representa uma grande parcela de economia em termos operacionais.

A ideia de se trabalhar com a propulsão elétrica não é de hoje, vem dos anos 80, porém naquela época não havia a eletrônica que se tem atualmente, eletrônica que permitiu o melhor controle do motor elétrico com velocidade variável e grande potência, As buscas por novas alternativas de tecnologia para este tipo de propulsão continuam. para embarcações *offshore*, se dão na busca por: peso e volume reduzido, formato compacto, resistência ao choque, elevadas faixas de potência gerada para valores específicos de torque e baixos valores de assinatura acústica e eletromagnética.

Para o funcionamento do sistema de DP utilizado nas embarcações *offshore*, há diversas combinações de propulsores, entre impelidores laterais (*thrusters*) e propulsores principais. Para que o sistema funcione o navio deve estar equipado com um sistema de propulsão que lhe permita executar todas as manobras com segurança. O sistema propulsivo é composto de propulsores principais e de propulsores auxiliares. Os sistemas de navegação tem se modernizado. O avanço da tecnologia tem auxiliado significativamente aos sistemas utilizados nas embarcações atualmente.

Na embarcação marítima o sistema de propulsão é necessário para se deslocar o navio. Sabe-se que os sistemas de propulsão mais utilizados neste tipo de embarcação são: convencional e diesel-elétrica. No tipo diesel-elétrica, a geração de energia ocorre através de um sistema de um conjunto motogerador, o motor a diesel é responsável pela produção de energia mecânica que através do movimento do motor, irá produzir energia elétrica no gerador. A partir dessa produção de energia elétrica, no sistema elétrico, motores elétricos serão responsáveis pelo giro das hélices. Esse trabalho tem como objetivo analisar a geração e a distribuição de energia dentro de uma embarcação com propulsão diesel-elétrica.

2 NAVIOS DE APOIO A PLATAFORMA

2.1 Navios PSV

Os navios de apoio à plataforma, mais conhecidos pela sigla do seu nome em inglês PSV - (*Platform Supply Vessel*), são os navios que atualmente tem a maior carteira de pedidos no Brasil. Isso ocorre devido ao grande ressurgimento da indústria naval brasileira, a exploração do petróleo. Estas embarcações possuem equipamentos peculiares para detecção, contenção, sucção e armazenamento de suprimentos e consumíveis, em tanques apropriados e segregados a bordo do navio. Sobre o convés, realizam o carregamento de equipamentos e tubos, além de cargas soltas e containerizadas; e abaixo do convés, fazem o transporte de granéis sólidos e líquidos como lama, cimento, água, combustível e produtos químicos, dentre outros.

Estes navios são utilizados no transporte de materiais, suprimentos e funcionários para plataformas de perfuração, navios-sonda e embarcações maiores, operando dentro da bacia petrolífera. Também têm como missão dar suporte à construção, manutenção e trabalho submarino em altomar, além de remover os resíduos gerados na atividade para a base de apoio.

Figura 1: Exemplo de PSV – PSV CBO ATLÂNTICO



Fonte: Arquivo técnico Companhia Brasileira de Offshore

2.2 Navios AHTS

Os navios conhecidos como AHTS, são construídos também com a finalidade de apoiar as plataformas de exploração de petróleo.

AHTS (Anchor Handling Tug Supply), É utilizada em operações de manobras de âncoras, posicionamento de plataformas, reboques oceânicos de grandes estruturas e embarcações na localização exata para a exploração do petróleo. (a grande maioria das movimentações oceânicas de plataformas de petróleo e FPSO's são realizadas pelos AHTS. Apresentam diversos equipamentos diferenciados para seu proposito sua popa apresenta uma abertura para permitir a docagem das âncoras.

Figura 2: Exemplo de AHTS – AHTS FAR SANTANA



Fonte: Arquivo técnico Farstad

3 MOTORES DIESEL

“Desenvolvido por Rudolph Diesel, nascido na França, ele registrou a patente do seu motor de combustão interna em 1893” (CAPELLI, 2007).

O motor de ciclo diesel funcionava com carvão pulverizado como combustível. “Somente em 1912 outro francês que se chamava L’Orange desenvolveu o motor diesel como conhecemos hoje, isto é, com quatro cilindros (no mínimo); injeção direta de combustível e óleo diesel no lugar de carvão.” (CAPELLI, 2007, p. 320).

O sistema de propulsão a diesel é o mais utilizado em embarcações isso se deve, principalmente, ao seu baixo custo operacional decorrente da associação de baixo consumo específico de combustível e emprego de óleo pesado, que é o combustível de menor preço por unidade de energia. Essa predominância das instalações propulsoras Diesel teve início na década de 60 além das embarcações que precisam de ‘força bruta’, e necessitam de grande potência propulsiva, necessária para atividades como reboque de unidades flutuantes ou outras embarcações, ou operações do tipo do AHTS.

O motor diesel é considerado um Motor de combustão interna (MCI), ou seja, a combustão ocorre no interior da máquina, ele se diferencia dos motores do ciclo Otto pois não é necessário que haja uma faísca em seu sistema, isso se deve ao fato do óleo combustível ser injetado nos cilindros a alta pressão, o que leva o óleo a atingir altas temperaturas e conseqüentemente, detonação.

O motor a diesel é um motor de quatro tempos, ou seja, em um ciclo de rotação do motor, todo o processo se passa por quatro momentos (ou tempos). Os quatro tempos de um motor a diesel são: Admissão, Compressão, Expansão e Exaustão.

3.1 Motores de combustão principal e motores auxiliares

Os motores de combustão principal (MCP) são os motores diesel responsável pela propulsão isso no vocabulário marítimo, e abordo das embarcações além dos “MCP”, os navios são equipados com motores de combustão auxiliar (MCA) são motores diesel que são responsáveis por suprir a energia da embarcação, estes são motores diesel de dois ou quatro tempo, Especialmente nos navios porta-containers, que o consumo de energia elétrica é muito alto, pois à necessidade de alimentar as máquinas de refrigeração dos containers frigoríficos.

4 ELEMENTOS DA PROPULSÃO DIESEL ELÉTRICO

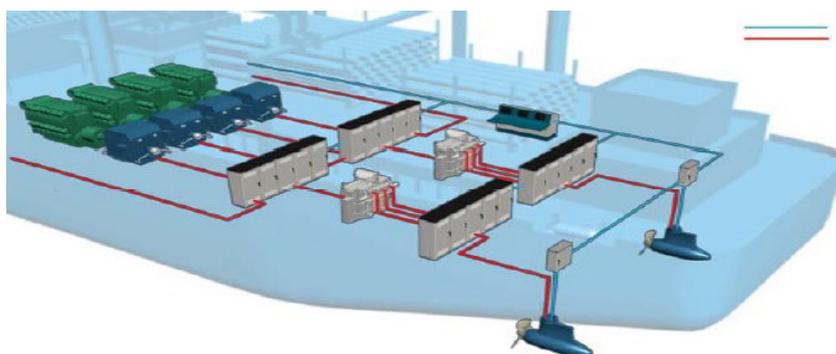
A propulsão elétrica de embarcações surgiu no início do século XX, acompanhando o desenvolvimento dos submarinos da época, que não podiam acionar os seus grupos geradores movidos por motores de combustão interna (MCI), por causa da inexistência de ar suficiente para a queima do combustível no MCI. O que também motivou o uso desse modelo de propulsão foi a dificuldade de armazenamento da energia elétrica.

Após a Segunda Guerra Mundial, rebocadores de alto mar foram produzidos com um similar aos de propulsão elétrica, pois tinha a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, característica muito importante em fainas de reboque e salvamento (Martins, 2008)

A propulsão Diesel Elétrica é normalmente utilizada em embarcações em que aspectos como alto grau de manobrabilidade e a necessidade do sistema de DP, e está se estabelecendo como uma das melhores opções para promover a redução de custos operacionais neste ambiente altamente competitivo. Inicialmente adotada em projetos de quebra-gelos e navios especializados, a propulsão elétrica tem conquistado novos mercados (Freire; Ferreira, 2004). Tal sistema apresenta as seguintes vantagens:

- a) Flexibilidade na organização da sala de máquinas;
- b) Eliminação das linhas de eixo;
- c) Manutenção menor para os Motores Diesel;
- d) Menor Consumo de Combustível;
- e) Alta confiabilidade;
- f) Maior disponibilidade;
- g) Menor nível de vibração e ruído;
- h) Redução de emissão de gases poluentes (CO₂, NO_x).

Figura 3: Layout da Propulsão Diesel Elétrica



A propulsão diesel-elétrica é baseada em geradores e motores diesel-elétricos, não utilizando MCP (Motor de Combustão Principal). Consiste na utilização de um determinado número de geradores capazes de suprir a demanda de energia de todos os equipamentos elétricos da embarcação. As unidades de propulsão são acionadas localmente através de motores elétricos. Todo o sistema do navio é interligado através de cabos de força e de comando (Angioletti).

4.1 Grupos geradores a diesel

A geração é a transformação de qualquer tipo de energia mecânica em energia elétrica. Para isso temos duas máquinas que funcionam em conjunto: a primária e o gerador. A máquina primária é aquela que transforma a fonte principal de energia em energia cinética, mais precisamente em energia mecânica de rotação. (...) O gerador é uma máquina que transforma a energia mecânica de rotação aplicada ao seu eixo em energia elétrica.(CAPELLI, 2007).

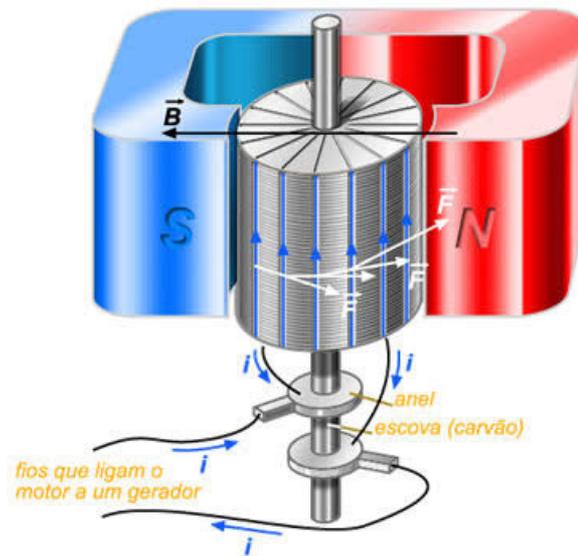
Basicamente um gerador elétrico é o equipamento capaz de transformar energia mecânica, nesse caso proveniente do motor a diesel, em energia elétrica. O princípio básico de funcionamento está baseado no movimento relativo entre uma espira e um campo magnético. Os terminais da espira são conectados a dois anéis, que estão ligados ao circuito externo através de escovas. Este tipo de gerador é denominado de armadura giratória.

A partir do princípio mostrado, observa-se dois conceitos de eletromagnetismo: o efeito motor e o efeito gerador.

Efeito motor: Aplica-se uma corrente elétrica na armadura; Um campo eletromagnético é gerado em volta da armadura; Esse campo interagirá com o campo eletromagnético já existente dos pólos magnéticos; Essa armadura ganhará uma rotação; Assim o sistema gera energia mecânica, e finalmente tem-se o efeito motor no sistema.

Efeito Gerador: Aplica-se uma rotação na armadura através de meios externos, como por exemplo, um motor a diesel; Essa rotação fará com que o fluxo magnético que passa por dentro da armadura varie; Essa variação resulta na geração de uma corrente elétrica na armadura, que pode ser conectada a uma rede elétrica; Esse sistema tornasse um gerador, causando o efeito gerador.

Figura 4: Esquema de funcionamento gerador elementar armadura girante



Fonte: <http://www.joseclaudio.eng.br/Imagens>

Considerando que o campo magnético é produzido por ímãs permanentes porque é mais simples para entender o conceito. Na prática, o campo magnético é produzido por uma bobina que é alimentada (ou excitada) por uma corrente elétrica, produzindo o campo magnético necessário. Ou seja, é um eletroímã.

Para uma máquina de um par de polos, a cada giro das espiras teremos um ciclo completo da tensão gerada.

Os enrolamentos podem ser construídos com um número maior de pares de polos, que se distribuirão alternadamente (um norte e um sul). Neste caso, tem-se um ciclo a cada par de polos. Assim temos:

$$f = \frac{p \cdot n}{120}$$

Onde:

F - frequência

(Hertz)

P - número de pólos

N - rotação (rpm).

4.2 Quadro elétrico principal

Como visto, os geradores são responsáveis pela geração da energia elétrica no sistema elétrico dentro da embarcação marítima. Porém não basta só produzir essa energia, Ela deve ser distribuída por toda a embarcação, com todas as proteções necessárias, para todos os equipamentos elétricos, desde uma simples lâmpada até os motores de propulsão, recebam a energia necessária para seu funcionamento correto. Para que essa distribuição seja de forma organizada e protegida, os painéis elétricos foram idealizados para que esse processo seja feito de maneira precisa, controlada e viável. Um painel elétrico funciona basicamente como um armário, apresenta uma estrutura externa metálica e seu interior preenchido com componentes elétricos para o controle da geração e da distribuição de energia, acionamentos elétricos para motores e alimentação para transformadores, inversores e painéis auxiliares.

O “QEP” moderno possui controles automáticos cujo conjunto é conhecido como supervisão do “QEP”, também chamado de automação do “QEP”. Esses componentes do “QEP” consistem em circuitos elétricos e eletrônicos, todos alimentados com 24 volts CC do sistema de energia transitório.

Figura 5: Foto de um QEP instalado na CCM de uma embarcação de apoio marítimo



Fonte: Arquivo técnico Siem Offshore do Brasil

Todo painel elétrico é dividido em colunas e em gavetas. As colunas são as divisões verticais e toda coluna é dividida em gavetas. Geralmente um painel é dividido por colunas de acordo com a funcionalidade da coluna, por exemplo, uma divisão pode ser em colunas para os Centros de Controle de Motores (CCM), colunas para o acionamento dos motores de propulsão, colunas de entrada dos geradores e saída dos painéis auxiliares e colunas para divisão de barramento (conhecido do inglês como *bus-tie*).

As gavetas são as divisões horizontais das colunas dos painéis, aparecem em maior quantidade nos CCMs e apresentam diferentes tipos de construção nos painéis, sendo que as mais usuais são as em armário, gaveta *plug-in* e gaveta extraível. As gavetas em armários são gavetas fixas dentro dos painéis.

Em alguns navios especializados, especialmente aqueles com propulsão elétrica, pode ser impossível aplicar a qualificação em cargas “essenciais” e “não essenciais”, porque as cargas dos quadros podem estar divididas em três grupos, ou mais. Nesses casos o tripulante pode encontrar disjuntores marcados com três ou mais cores no quadro com o propósito de indicar a prioridade para desligar, em caso de sobrecarga na fonte geradora de energia. A figura 10.14 ilustra o QEP de um “liner” com propulsão elétrica, o qual ocupa todo um grande compartimento do navio.

Figura 6: Compartimento do QEP de um navio de turismo (liner)



Fonte: Foto interna do Azamara Journey

4.2.1 As vantagens da utilização de painéis nos sistemas elétricos

Espaço: devido sua estrutura ser única e reduzida, aproveita-se muito bem os espaços dentro do painel.

Instalação: os painéis já vêm prontos dos fornecedores sendo necessário somente o posicionamento dos mesmos nas embarcações, instalação dos cabos para o sistema elétrico a ser alimentado.

Operação: apresenta visores e sistemas de fácil observação e manuseio, tornando a operação e supervisão dos painéis muito fácil e simples.

Manutenção: dependendo do fabricante de painéis, a qualidade do mesmo é tão grande e precisa que na grande maioria das vezes, a manutenção é simples e barata, sendo que muitas vezes o próprio operador pode realizar as manutenções nos equipamentos.

Segurança pessoal e operacional: Devido aos diversos sistemas de proteção dos equipamentos e do próprio painel, eles são produzidos para trazer a máxima segurança para os operadores e para o sistema elétrico.

Qualidade: Apresentam qualidade e tecnologia inquestionáveis para um melhor desempenho e ergonomia para os sistemas elétricos a serem utilizados.

4.3 Barramento principal

Dentro do “QEP” existe o chamado **barramento** (figura 10.23), que interliga todos os “armários” do “QEP”. Ele consiste em conjuntos triplos (trifásicos) com barras de material condutor ligando os terminais dos cabos dos geradores aos disjuntores dos geradores nos quadros dentro de cada armário e desses disjuntores aos demais quadros ou “armários”. É comum chamar o barramento pela sua aplicação, por exemplo, barramento dos geradores, da força, da iluminação, etc.

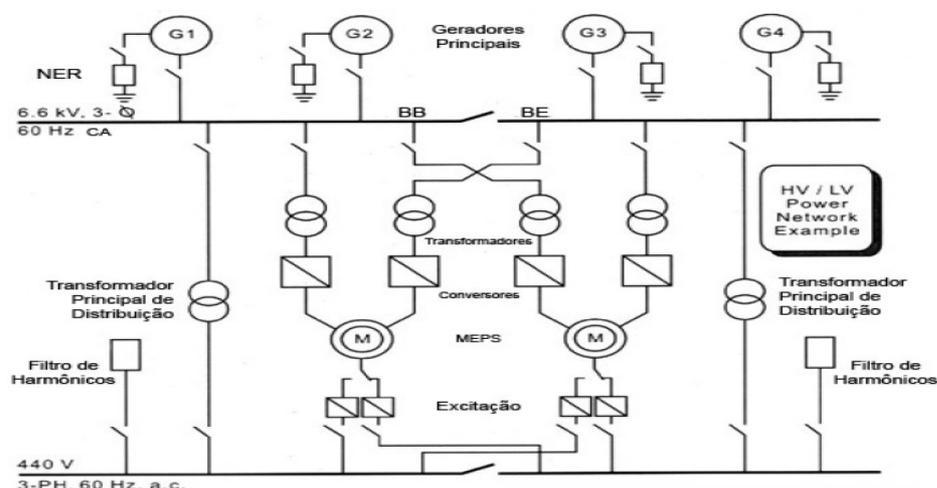
Uma barra é um condutor rígido, em forma de tubo ou de seção perfilada, fornecido em trechos retilíneos. As barras são usadas diretamente como condutores (geralmente sem isolamento) em equipamentos, tais como quadros de distribuição, ou em ‘barramentos blindados’. (...) Chamamos de barramento o conjunto de barras de mesma tensão nominal, com seus suportes e acessórios. Um arramento blindado é uma linha pré-fabricada cujos condutores são barra. (COTRIM, 1992).

4.3.1 Barramento separado

Independentemente da potência elétrica produzida pelos geradores, a Convenção SOLAS exige a separação do barramento do “QEP” nos navios onde o hélice propulsor é acionado por um Motor Elétrico de Propulsão (MEP), o que costuma ocorrer nos navios de passageiros mais novos e nas embarcações mais modernas de apoio marítimo.

Quando existe separação de barramento, o barramento principal é dividido em duas ou mais partes, essas partes interligadas através de chaves, cada uma delas alimentando um ou mais quadros elétricos, conforme ilustra o exemplo da figura 7.

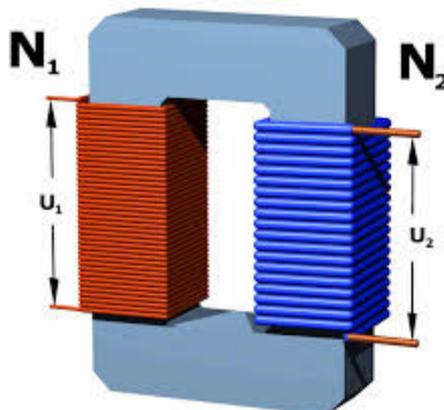
Figura 7: Diagrama de uma planta de propulsão elétrica com 4 GEPs



4.4 Transformador

Num transformador simples temos duas bobinas. Funciona por meio do acoplamento eletromagnético entre dois enrolamentos, que chamamos de primário e secundário. O primário é simplesmente o enrolamento onde entregamos a energia em forma de tensão e corrente elétrica e o secundário é onde teremos tensão e corrente elétrica induzidos pelo campo magnético. Em muitos transformadores, podemos inverter os dois lados, mas o primário será sempre onde estamos fornecendo energia. N_1 e N_2 são os números de espiras das bobinas do primário e secundário. Sendo o transformador ideal, todas as linhas de campo geradas no primário enlaça as espiras do secundário.

Figura 8: Esquema de um Transformador



Fonte: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTirjm6Q2>

No sistema de propulsão elétrica integrada, os transformadores apresentam potências que variam muito, devido a grande diversidade de aplicações na planta elétrica. A bordo existem dois tipos mais comuns: o transformador de distribuição, para alimentar os sistemas elétricos auxiliares de bordo e o transformador para os motores de propulsão. Nas embarcações *offshore*, apesar de a rede elétrica ser trifásica, os transformadores costumam ser monofásicos, o que permite em caso de avaria em algum dos transformadores que não se perca toda a rede elétrica.

4.4.1 Rendimento de um transformador

O rendimento de um transformador pode ser calculado como a relação entre a potência consumida na saída do transformador pela potência de entrada do transformador. Tem-se assim:

$$\eta = \frac{\text{potência na saída}}{\text{potência na entrada}}$$

4.5 Inversor de frequência

O inversor de frequência, também conhecido como conversor de frequência é responsável pela variação de frequência da tensão do estator de um motor assíncrono, e com isso, varia-se a velocidade de rotação do rotor da maneira que for desejada. O inversor numa embarcação marítima é usado para o controle dos motores de propulsão do navio.

A ponte retificadora de diodos transforma a tensão alternada de entrada em uma tensão contínua que é filtrada por um banco de capacitores. O circuito de corrente contínua é

chamado de circuito intermediário. Aumentando-se ou diminuindo-se a taxa de variação do chaveamento, pode-se alterar a frequência do sistema trifásico gerado, inclusive aumentando a frequência acima do valor da rede, uma vez que a conversão CC desacopla a saída da entrada. O circuito de controle é responsável pela geração dos pulsos para condução dos transistores, monitoração e proteção dos componentes de potência, interpretação dos comandos externos, proteção e segurança.

Os inversores são divididos em duas seções básicas: a seção retificadora e a seção inversora. Na seção retificadora tem-se que a tensão alternada de entrada é transformada pelo retificador em contínua pulsada e um capacitor transforma a tensão contínua pulsada em contínua pura. Na seção inversora, a tensão retificada é novamente transformada em tensão alternada por meio de transistores *IGBT*. Estes transistores chaveiam várias vezes por ciclo, gerando um trem de pulsos com largura variável senoidal. Esta tensão de saída, aplicada a um motor elétrico, irá gerar uma forma de onda corrente bem próxima da senoidal através do enrolamento do motor.

O Conversor de frequência é usado para Regulação de velocidade, Isso é muito importante para embarcação, pois devido ao movimento do navio sobre as ondas, por diversas vezes as hélices do navio saem do mar, fazendo com que a carga sobre o motor varie bruscamente. Se um inversor não fosse aplicado, essa variação de carga poderia forçar demais o conjunto propulsor do navio, causando perdas no motor. Portanto para frear um navio, os conversores de frequência devem ser capazes de não somente desligar os motores quando necessária devem ser capaz de reverter o sentido de rotação dos motores com o objetivo de parar o navio. Isso tudo ainda deve ser feito, sem que os motores, ou as hélices de propulsão se danifiquem ou se percam.

4.6 Motores elétricos

Enquanto a geração de energia elétrica sob a forma de corrente contínua, em grandes quantidades, fica limitada a navios de propulsão elétrica como submarinos e diesel-elétricas, a geração sob a forma de corrente alternada é praticamente universal. Mesmo quando a principal aplicação requer Corrente continua, basta retificar a Corrente Alternada para utilizar a energia convenientemente. Está máquina é muito importante Ela é responsável pela geração de, praticamente, toda a energia elétrica disponível no planeta e, em especial, no nosso navio.

O motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. É o mais usado, pois combina as vantagens da utilização de energia elétrica – baixo

custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

Os motores elétricos mais comuns são os:

- a) **Corrente contínua** que são conhecidos também como comutadores eles têm custo mais elevado e precisam de uma fonte de corrente contínua ou de um dispositivo que converta a corrente alternada disponível em contínua. Podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão.
- b) **Corrente Alternada** que são conhecidos também como alternadores são os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são: Motor Síncrono: funciona com velocidade fixa, sendo utilizado somente para grandes potências ou quando se necessita de velocidade invariável. Motor de Indução: funciona normalmente com uma velocidade constante que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas.

4.6.1 Motor de indução trifásico

Mais de 90% de toda a energia elétrica gerada, transmitida e distribuída neste planeta seja feita sob a forma de corrente alternada (CA), na sua utilização os sistemas podem exigir, preferir ou ser indiferentes quanto à frequência. Por exemplo, quando a energia vai ser aplicada em utilizadores que não percebem diferença entre corrente contínua (CC) e alternada (CA), como aquecimento e certos tipos de iluminação, ela é consumida da mesma forma que é recebida. Assim, tanto faz, para uma lâmpada comum ou para um chuveiro, ser alimentados por corrente contínua ou alternada.

O motor de indução trifásico é uma máquina elétrica de corrente alternada muito utilizada no acionamento de cargas mecânicas. Sua grande vantagem é a capacidade de operar sem necessidade de contato com os enrolamentos do rotor, significando uma redução dos custos de manutenção. É composto de estator e rotor. Normalmente, a alimentação do motor de indução trifásico é feita pelo estator e os enrolamentos do rotor podem ser do tipo “bobinado” ou “gaiola de esquilo”.

O rotor bobinado tem bobinas trifásicas no rotor e anéis coletores no eixo, de forma a permitir o acesso às correntes induzidas nos enrolamentos do rotor. Não aplicável em propulsão devido ao seu tamanho elevado. (ANGIOLETTI, 2014).

O rotor tipo gaiola de esquilo é composto de barramentos condutores alojados em ranhuras do rotor e curto circuitados. São os motores escolhidos para a propulsão de navios. A ausência de contato elétrico entre o rotor e o exterior torna este motor bastante econômico e de baixa manutenção. A maior desvantagem é a dificuldade do controle de velocidade sem uso de dispositivos eletrônicos.

4.6.2 Formas de partidas dos motores elétricos

No instante da partida, quando o operador deseja que o motor não consuma tanta corrente, a ponto de desestabilizar o sistema elétrico, ou que o motor não desenvolva um torque elevado, que possa provocar rápidas acelerações, comprometendo os seus próprios mecanismos ou a carga transportada; e durante o funcionamento, quando o operador pode pretender alterar a sua velocidade, por alguma razão. seriam as possíveis condições que um operador poderia desejar .

Por outro lado, um torque elevado não é sempre o que se deseja. Existem cargas que, na partida ou em baixa velocidade, não necessitam de muito torque para serem acionadas (ventiladores, bombas), outras que partem sem a carga acoplada (ferramentas) e outras que não podem receber um torque de partida elevado (elevadores, transportadores). Como o torque depende da corrente, qualquer solução para redução da corrente vai atender também a redução do torque. E como a corrente no estator é decorrência da corrente do rotor.

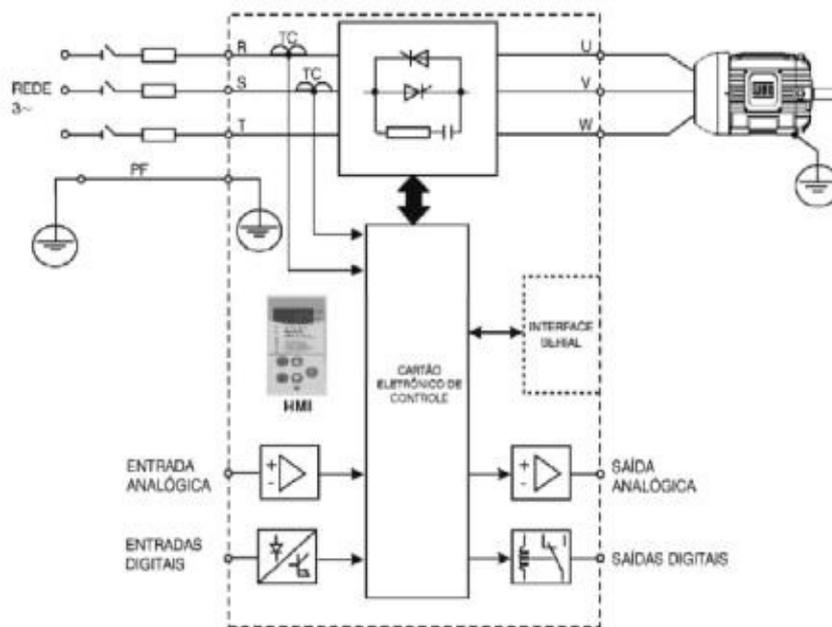
Há diversas maneiras de acionar motores elétricos. Todos esses acionamentos apresentam seus respectivos dispositivos de segurança como disjuntores, fusíveis e aterramentos, porem cada um tem um diferencial em relação ao outro com o propósito de apresentar vantagens. Alguns serão brevemente demonstrados a seguir:

- a) Partida direta não reversível (PTNR): A partida direta não reversível é a partida mais simples, porem é uma das mais utilizadas no mercado, ela constitui no acionamento do motor para que ele rotacione em apenas um sentido, ou seja, se o motor deve rotacionar no sentido horário, ele somente rotacionará nesse sentido.
- b) Partida direta reversível (PTR): A partida direta reversível é muito semelhante a PTNR mas é diferente pelo fato de que ela permite que o motor rotacione para qualquer sentido, de acordo com a corrente que é enviada para o motor. Essas duas partidas são muito utilizadas

no mercado, pois são as que apresentam menor custo em relação às demais, porém não são recomendadas para motores com potências 48 grandes, pois cada vez que o motor é acionado, o sistema apresenta uma corrente de pico, que em motores menores é aceitável, porém para motores maiores, essa corrente pode danificar o sistema e o acionamento.

- c) Partida suave ou *soft-starter*: A partida suave é uma partida muito utilizada quando se deseja que essa corrente de pico não apareça no sistema. É um acionamento caro em relação aos demais, porém é utilizada em muitos casos, principalmente em motores grandes. Ela só não é a mais utilizada, pois ela não apresenta um controle de corrente para que o motor funcione com menos ou mais potência, ou seja, para que rotacione com mais ou menos velocidade, para casos que exijam um controle de rotação, deve ser utilizado um inversor de frequência, que apresenta a melhor solução para esses casos, tendo como principal aplicabilidade nos motores de propulsão.

Figura 9: Bloco esquemático Do soft st



Fonte: Autoria Jose Eudes Barroso Loureto

5 PROPULSORES ESPÉCIAIS ELÉTRICOS

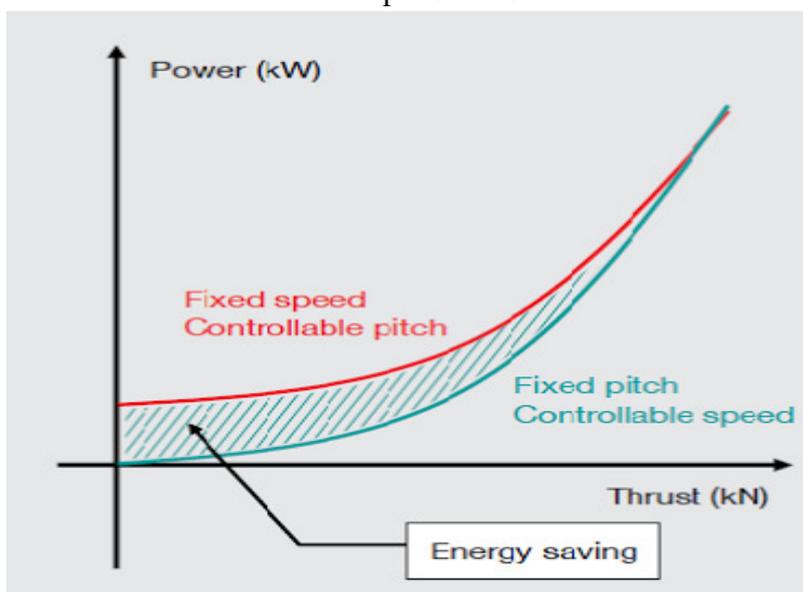
5.1 Hélice de passo controlável (CPP)

Este sistema possui uma tecnologia de que diminui o nível de ruídos e vibrações chegando perto de zero. É utilizado em vários tipos diferentes de embarcações. Uma das vantagens é que possui baixo custo de manutenção além de ser extremamente robusto para operarem em condições adversas de mar.

A ideia básica de funcionamento do hélice de passo variável é a variação de ataque das pás do hélice (Martins, 2008)

O passo é controlado por um mecanismo hidráulico dentro do cubo e não tem necessidade de caixas inversoras. O impulso é controlado pelo passo do hélice, fazendo com que a embarcação possa navegar com sua velocidade mais eficiente.

Figura 10: Gráfico comparativo entre Passo fixo e variável em relação empuxo X Potencia



Fonte: <http://www.scielo.br/img/fbpe/ca/v13n3/a06fig03.jpg>

5.2 Hélice de passo fixo (FPP)

Com a utilização do hélice de passo fixo, a velocidade do navio é regulada pela variação da velocidade de rotação do hélice e por isso da máquina principal. A paragem e a inversão da marcha do navio, resulta na paragem e novamente no arranque da máquina

principal em sentido contrário. O sistema FPP é constituído por três ou mais pás rigidamente fixadas ao cubo.

Figura 11: Exemplo de Passo fixo e Variável



Fonte: data:image/jpeg;base64/9j/gIICliB/9k=

5.3 Hélices duplas

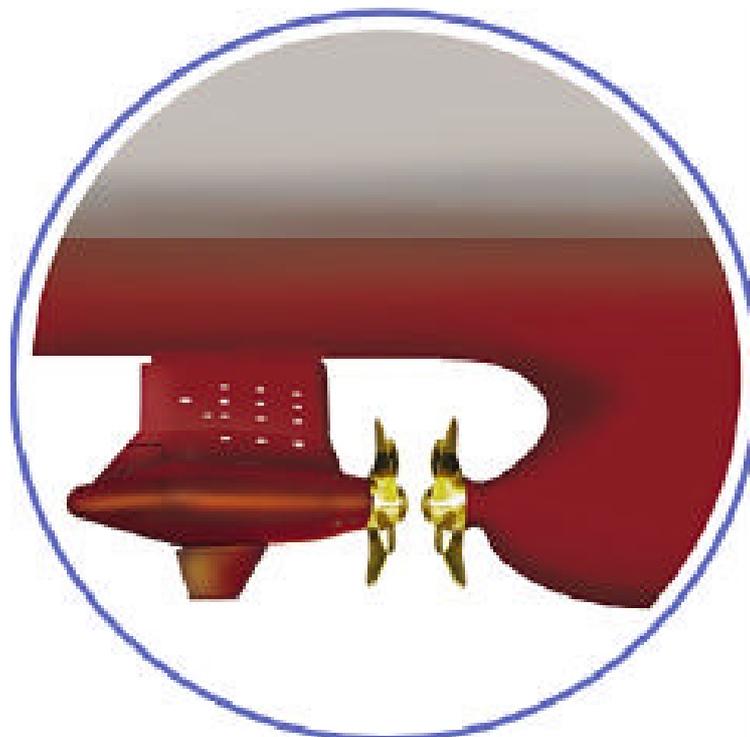
Não é de hoje o uso de mais de uma hélice no sistema de propulsão, várias embarcações *offshore* fazem uso de par de propulsores azimutais e dessa forma dispensam o uso de leme, no entanto, nestes casos bem como em outros exemplos anteriores a este os hélices se encontram em eixos e estrutura mecânica diferentes. No entanto, este trabalho ao adotar o termo hélice dupla não se refere a esse tipo de tecnologia e sim algo muito mais recente na navegação que são os pares de hélice em mesmo eixo e mesma estrutura mecânica. Os dois modelos estudados são o STP (Twin Propellers) e o CRP (Hélices contra rotativas)

5.3.1 CRP Azipod

O sistema de propulsão azimutal é um avanço na unidade de propulsão nos últimos anos, o conceito ainda não está totalmente desenvolvido, mas está em uma evolução contínua, Esse sistema tem um impacto significativo sobre a praça de maquinas. A propulsão *Contra Rotating Pod* (CRP) é um pod combinado com uma linha de eixo orientado tradicional, como

mostra a figura 10. O pod é um azimuthal que é controlado por um motor elétrico de velocidade variável. O conceito CRP mostrou a dar uma grande melhoria na eficiência da propulsão bem como uma maior potencia em vários tipos de embarcações.

Figura 12: Exemplo de Hélices contra rotativas - The Contra Rotating Pod (CRP)



Fonte: <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:AN>

5.3.2 STP Twin Propeller

Utiliza de dois hélices montados num mesmo eixo, girando na mesma direção e aletas direcionais integradas ao propulsor, obtêm-se, entre outras, as seguintes vantagens: alta confiabilidade devido à construção simples e com poucas peças móveis, redução do diâmetro do hélice sem comprometimento da eficiência, baixo consumo de combustível e baixo custo de manutenção. Esse propulsor tem 20% a mais de eficiência propulsora comparado a propulsores comuns.

Figura 13: Exemplo de Twin Propeller



Fonte: <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:>

5.4 Azimutais

Azimutal é um propulsor capaz de girar 360° dispensando o uso do leme e dando maior manobrabilidade à embarcação.

Esses propulsores começaram a ser largamente empregados com o avanço tecnológico da eletrônica de potência, que desenvolveu elementos de controle para maiores potências. Eles podem ser simples ou contra-rotativos, com passo fixo ou variável e possuir bocal, entre outras variações.

As disposições de transmissão do azimutal podem ser:

- a) **Tipo Z:** possuem a máquina motriz com o eixo na posição horizontal. O torque é transmitido ao propulsor por meio das duas caixas de transmissão, uma conectada ao eixo do motor, que por sua vez está na estrutura de suporte ou sobre o topo do atuador, e a outra caixa de transmissão está na direção da linha do eixo propulsor. Essa forma de transmissão é chamada de Z-drive porque o movimento de rotação tem que fazer duas voltas em ângulo reto, assemelhando-se, assim, à letra Z.

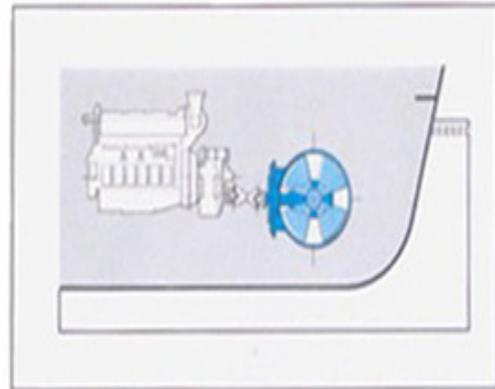
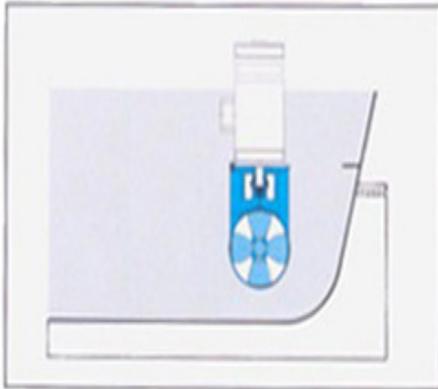
- b) **Tipo L:** o azimutal tem sua máquina motriz na posição vertical e possui uma única caixa de transmissão de engrenagens, localizada na linha horizontal do eixo do propulsor. É chamada de L-drive porque o movimento de rotação tem que fazer um giro de 90°, parecendo a letra L.

Quanto à disposição do azimutal, ele pode ser do tipo empurrador, em que o propulsor está à frente do fluxo gerado e do tipo puxador, em que o propulsor é instalado à ré do

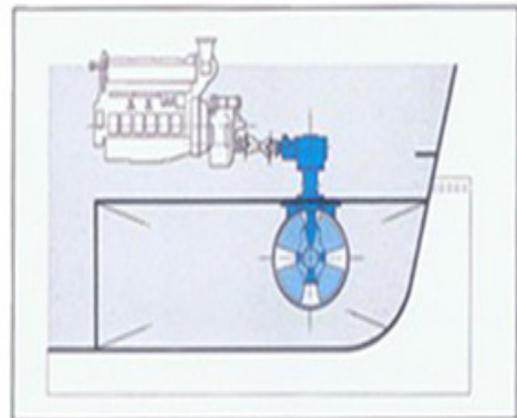
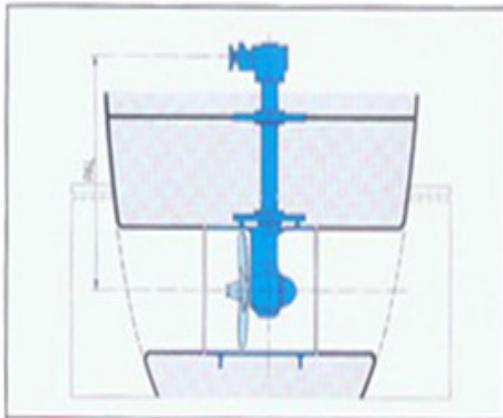
luxo gerado. O tipo puxador tem melhor desempenho e menores problemas de cavitação e vibração. Porém, seu arranjo é instável, necessitando de leme para que seja atingido o equilíbrio direcional.

Figura 14: Exemplo de L-Drive e Z-Drive

L-Drive Tunnel Thrusters



Z-Drive Thrusters



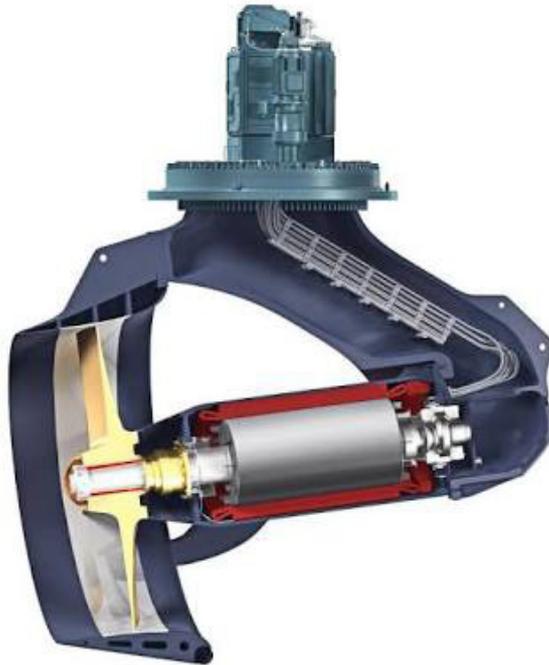
Fonte: data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgAB

5.4.1 POD e AZIPOD

Propulsores azimutais são propulsores que podem ser girados para produzir empuxo em qualquer direção. A utilização desse sistema proporciona uma maior mobilidade a embarcação, dessa forma é o sistema mais recomendado para embarcações *offshore*. Além dessa principal vantagem, a propulsão azimutal também é mais eficiente que a convencional graças ao uso de motores elétricos, ela faz melhor uso das dimensões da embarcação

conferindo mais espaço para outras instalações, os custos de manutenção também são menores. Os propulsores azimutais podem apresentar transmissão mecânica ou elétrica, sendo que na segunda o motor fica localizado fora do casco da embarcação eliminando a necessidade de caixa de transmissão, já nos modelos tradicionais de transmissão mecânica onde o motor fica localizado no interior da embarcação o torque chega até a embarcação graças ao sistema de transmissão que pode ser do tipo Z-drive ou L-drive.

Figura 15: Exemplo de AZIPOD



Fonte: data:image/jpeg;base64,/9j/4AAQSkZJRgABA

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da propulsão tem se tornado a cada dia mais importante com o intuito de escolher o que melhor se adequa às diversas embarcações que a cada ano são lançadas no mercado. Tendo em vista as exigências de 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*.

A propulsão diesel elétrica vem sendo aplicada desde o começo do sec XX até o presente momento porém somente recentemente que a sua aplicação se tornou não só viável mais também vantajosa em relação aos sistemas convencionais de propulsão, a presença da eletrônica e de sistemas de injeção eletrônica permitem controle mais efetivo do consumo da potência e rpm ideal para qualquer uso do sistema com isso o consumo de combustível e poluição são consideravelmente reduzidos.

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.

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; Flexibilidade do Projeto; Favorecimento das redundâncias dos sistemas; Redução dos Custos de Manutenção; Redução da Emissão de Poluentes; 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 e outros tipos de falhas).

O sistema diesel-mecânico é o sistema propulsivo mais usado em embarcações que necessitam de “força bruta”, de grande potência propulsiva, que produzam tração estática necessária para atividades como reboques de unidades flutuantes e/ou outras embarcações e que necessitam de fixação de âncoras em solo marinho, como por exemplo, os navios AHTS.

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.

Desta forma podemos ratificar o emprego do sistema de propulsão diesel elétrico no mercado *offshore*, nos últimos, e que se tornará ainda mais presente nas embarcações por ser uma forma energética eficiente e limpa. Conclui-se, portanto que o objetivo deste trabalho foi alcançado, mas que o mesmo não esgota o estudo sobre o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 09/04/2016.

ALVES, Renata Nunes. **Propulsão elétrica de navios**. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Engenharia do Rio de Janeiro; 2007.

ANGIOLETTI, Malco Adriano. **Eletricidade naval**. Disponível em: <http://www.eletricidade.in/2-aulas_pdf/apostilas/eletricidade_navai.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2016.

BARCELLOS, Renato. **O sistema híbrido de propulsão como uma alternativa viável aos sistemas diesel-elétrico e diesel-mecânico**. Anais do 24º Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore; 2012 out 15-19; Rio de Janeiro.

CAPELLI, Alexandre. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção**. 1ª edição. Editora: Ética, São Paulo, 2007.

COTRIM, Ademaro. **Instalações elétricas**. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 1992.

ETP. **StellVessels for offshore support**. 2011. Disponível em: <<http://www.etp.com.br/ingles/steelvessels.html>>. Acesso em: 16 mar. 2016

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. 4ª Ed. Editora Ética Ltda, São Paulo, 2011.

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.

MARTINS, Igor Estevão Lotti. **Modernos sistemas de propulsão em navios Mercantes**. Rio de Janeiro: Centro de Instrução Almirante Graça Aranha; 2008.

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

WORKBOATSINTERNATIONAL.AHTS (Anchor Handling Tug Supply).2012. Disponível em: <[http://workboatsinternational.com/anchor-handling-tug-supply-\(ahts\)-for-sale.html](http://workboatsinternational.com/anchor-handling-tug-supply-(ahts)-for-sale.html)>. Acesso em: 16 mar. 2016.