

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

**MODERNOS SISTEMAS DE PROPULSAO PARA NAVIOS  
MERCANTES**

**Por: Bianca Espírito Santo Barbosa**

**Orientador**

**Prof. José Barretto Cardoso Filho.**

**Rio de Janeiro**

**2011**

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

**MODERNOS SISTEMAS DE PROPULSAO PARA 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 Náutica (FONT) da Marinha Mercante.

Por: Bianca Espírito Santo Barbosa

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA****CURSO 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 aos meus amigos de turma por completarem a felicidade dos meus dias durante esses três anos, especialmente às minhas campanhas de camarote do 1º ano que tanto me fizeram rir, sempre me ajudaram e ajudarão independente da separação, àqueles que até altas horas das vésperas de prova, com muito bom humor, me davam ânimo para aprender mais e ao meu namorado que, tendo amplo conhecimento do tema, me direcionou nas pesquisas e explicou o assunto com a máxima paciência!

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, irmãs e sobrinho que muito apoiam minha carreira, aos meus familiares que me ajudaram e me deram força para estar aqui hoje, e todos àqueles que ficam felizes com minhas conquistas!

## RESUMO

Este estudo visa abordar alguns dos sistemas de propulsão mais encontrados atualmente em navios mercantes além de avançadas tecnologias que ainda não são largamente utilizadas na navegação comercial.

Um breve histórico será apresentado para explicar o surgimento e desenvolvimento dos sistemas além de serem apresentados a composição e funcionamento desses, destacando particularidades e tipos de navios para os quais são indicados.

Será comentada também a evolução de equipamentos e métodos que permitirão a implantação e uso destas tecnologias aos novos sistemas propulsores.

Palavras chave: Turbina, manobrabilidade, Azipod®, Voith Schneider, propulsão elétrica, propulsão.

## **ABSTRACT**

This study aims to address some of the propulsion systems currently found in most commercial vessels as well as advanced technologies that are not yet widely used in commercial shipping.

A brief history is presented to explain the emergence and development of systems and are given the composition and functioning of these, highlighting specific features and types of vessels which are indicated.

It will also be discussed the development of equipment and methods that enable the deployment and use of these technologies to new propellant systems.

**Keywords:** Turbine, maneuverability, Azipod®, Voith Schneider propulsion, electric propulsion.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Turbina a gás _____	15
Figura 2: Ciclo de Brayton _____	16
Figura 3: Hélice de passo controlável com detalhe interno _____	37
Figura 4: Angulação da pá _____	38
Figura 5: Operações no Voith Schneider _____	41
Figura 6: Skeg _____	42
Figura 7: Equipamentos do sistema Azipod® _____	44
Figura 8: Propulsão Azipod® Dupla _____	45
Figura 9: Propulsão CRP _____	45
Figura 10: Sistemas do Propulsor Azipod® _____	45



## SUMÁRIO

Introdução	12
1 Turbina a gás	14
1.0 Histórico	14
1.1 Princípio de funcionamento	15
1.1.1 Ciclo de brayton	16
1.2 Sistemas que compõem a turbina a gás	17
1.2.1 Sistema de ar de combustão	18
1.2.2 Sistema de ar de ventilação	18
1.2.3 Sistema de óleo lubrificante	18
1.2.4 Sistema de óleo de comando	19
1.2.5 Sistema de partida	19
1.2.6 Sistema de controle de fluxo de ar	19
1.2.7 Sistema de óleo combustível	20
1.2.8 Sistema de ignição	21
1.2.9 Sistema de proteção	21
1.2.9.1 Sensores de vibração e temperatura dos mancais	21
1.2.9.2 Sensores de temperatura dos gases gerados	21
1.2.9.3 Sensores de velocidade	21
1.3 Vantagens da turbina a gás	22
1.4 Conclusão	22
2 Propulsão elétrica	24
2.0 Histórico da propulsão elétrica	24
2.1 Uso e desenvolvimento da propulsão elétrica nos navios mercantes	25
2.1.1 Propulsão elétrica em corrente contínua	27
2.1.2 Propulsão elétrica corrente alternada	29
2.2 Formas de partida dos motores elétricos	30
2.2.1 Método de partida direta	31
2.2.2 Método de partida estrela-triângulo	31
2.2.3 Método de partida sof-starter	31
2.3 Sistemas de governo	32

2.3.1 Propulsão por PODS	32
2.3.2 Sistema Schottel	32
2.3.2.1 Sistema Schottel com propulsão elétrica	33
2.3.3 Thrusters	33
2.3.4 Propulsão elétrica com reversão	34
2.4 Distribuidor de carga	35
3 Sistema de Passo Controlável	36
3.0 Definição	36
3.1 Funcionamento	36
3.1.1 Funcionamento interno	37
3.1.2 Funcionamento externo	38
3.2 Características	38
4 Propulsão Cicloidal	40
4.0 Definição	40
4.1 Composição e funcionamento do Voith Schneider	40
4.1.1 Composição	40
4.1.2 Funcionamento	41
4.2 Particularidades	42
4.3 Comparação entre os sistemas Voith Schneider e Azimutal	42
5 Propulsão Azipod®	42
5.0 Definição	43
5.1 Composição elétrica do sistema Azipod®	44
5.2 Emprego do Azipod®	44
5.2.1 Propulsão simples	45
5.2.2 Propulsão Dupla	45
5.2.3 Propulsão CRP AZIPOD®	45
5.2.4 Propulsão Compacta	45
5.3 Sistemas do AZIPOD®	45
5.3.1 Sistema de resfriamento	46
5.3.2 Sistema de Governo	46

5.3.3 Sistema de selagem _____	46
5.3.4 Sistema de lubrificação _____	46
5.3.5 Sistema de drenagem _____	47
5.3.6 Sistema de freios e travas _____	47
Considerações Finais _____	48
Referências Bibliográficas _____	53

## INTRODUÇÃO

O sistema de propulsão de um navio é composto por elementos e tecnologias que serão utilizados para vencer a pressão da água e imprevistos atmosféricos, visando impulsionar a embarcação.

Para gerar impulso, o sistema propulsor retira energia de alguma fonte e esse meio utilizado para gerá-la é o que caracterizará o sistema. A seleção da fonte de energia, e consequentemente o tipo de sistema, desenvolveu-se com a evolução humana em busca da economia e potência.

As primeiras embarcações tiveram como meio de propulsão o remo, evoluindo então para a vela e turbina a vapor com roda lateral, porém em função dos impedimentos que esses sistemas proporcionavam, foi desenvolvido o hélice e sistemas adequados para o moverem e provocar deslocamento sobre a água.

Este sistema consiste basicamente na interação entre o Motor de Combustão Principal (MCP), linha de eixo e propulsor, representando o mais caro sistema instalado na praça de máquinas.

O MCP contém equipamentos necessários para dar a partida além de sistemas de resfriamento, alimentação de combustível, lubrificação, instrumentação, controle, ar de consumo e descarga de gases. Ele aciona a linha de eixo que transmite o torque e potência recebidos para o propulsor. O hélice fica acoplado à estrutura localizada na extremidade a ré da linha de eixo gerando impulso na água.

Estes elementos são instalados de acordo com a necessidade do navio. O MCP, por exemplo, é dimensionado conforme a velocidade exigida, a linha de eixo é construída considerando vibrações torcionais, vida útil e critérios de segurança. O hélice é selecionado em função da manobrabilidade requerida. Percebe-se então que há um cuidado ao optar pelo sistema que fornece a maior eficiência em relação ao tipo de navio.

Para otimizar o transporte e suprir as necessidades da navegação, objeto de grande interesse para o comércio mundial, novos métodos de propulsão foram (e continuam sendo) desenvolvidos para prover segurança e eficiência (velocidade e manobrabilidade) com métodos economicamente viáveis e que não afetassem o meio ambiente.

Serão apresentados alguns dos sistemas de propulsão mais modernos e populares utilizados na marinha mercante, o funcionamento de cada um e a variação na estrutura dos seus equipamentos de acordo com a necessidade, além de destacar os efeitos e vantagens sobre os outros sistemas.

# CAPÍTULO I

## Turbina a gás

### 1.0 Histórico

Durante a Primeira Guerra Mundial foi utilizado um projeto chamado “General Electric turbosupercompressor” desenvolvido pelo engenheiro Stanford Moss e que usava os gases de escape de um motor recíproco para arrastar a roda de uma turbina que, fazendo rodar um compressor centrífugo, aumentava a compressão. A construção dos primeiros motores de turbina a gás se tornou possível, devido ao processo de evolução do “turbosupercompressor”.

Comparando ao motor diesel, a turbina a gás exige um alto custo com gastos de combustíveis e instalação, o que faz com que esta, mesmo sendo um dos mais modernos sistemas de propulsão e possuir muitas vantagens, não seja largamente utilizada nas atividades da Marinha Mercante. Este sistema é utilizado, principalmente, em navios que necessitam de alta aceleração e velocidade, navios de guerra, por exemplo, ou em navios gaseiros, pela viabilidade de utilizar o gás evaporado dos tanques de carga como combustível.

Sendo basicamente um motor de combustão interna do tipo rotativo, este tipo de sistema propulsor queima uma mistura de combustível e ar e recebe o nome de turbina a gás, pelo fato de o trabalho ser produzido pela liberação do gás proveniente da queima para a atmosfera. O sistema consiste na adoção de um motor a jato acoplado num eixo naval, girando um hélice.

Os navios que possuem somente este tipo de propulsão devem possuir, também, câmbio de reversão ou hélice de passo controlável porque as turbinas não podem ser revertidas.

A primeira embarcação movida por turbina a gás foi lançada pela Inglaterra em 1953 e se chamava *HMS Grey Goose*.

## 1.1 Princípio de funcionamento

Independente do modelo da turbina, ela sempre possuirá seus elementos básicos que são: compressor, câmara de combustão e turbina. E o ar, elemento motriz para gerar energia, passará pelas seguintes etapas: admissão, compressão, combustão e exaustão. (Figura 1 - Anexo)

O ar atmosférico é admitido passando por normalmente três estágios de filtragem. Em um compressor dinâmico do tipo axial ou centrífugo, (normalmente axial de vários estágios por ser adequados para maiores vazões) o ar tem sua energia interna aumentada.

Sendo o responsável pelo aumento de pressão do ar, o compressor é acionado pela turbina do gerador de gás e acelera o fluido através de seu rotor e palhetas, transformando essa velocidade em pressão na saída.

Em uma seção estacionária se localizam os anéis com palhetas estatoras e a seção rotativa composta por um conjunto de rotores com palhetas montados em um eixo. Cada estágio de compressão é composto por um anel com palhetas estatoras e um rotor com palhetas.

O responsável pela aceleração do ar é o rotor com palhetas e é neste momento que o ar recebe trabalho para aumentar a energia cinética. O ar é direcionado pelo anel de palhetas estatoras que o incidem num ângulo favorável sobre as palhetas do próximo rotor e promovem a sua desaceleração, para que ocorra a transformação da energia cinética em energia térmica (efeito difusor).

Projetado para trabalhar em altas rotações com grande eficiência, o compressor pode ter que operar em baixas rotações o que é possível com a instalação, nos quatro primeiros estágios, de um conjunto de palhetas guias variáveis de entrada, que irá alterar o ângulo de ataque do ar de acordo com a necessidade de operação.

É na câmara de combustão que ocorre a mistura de ar e combustível. Uma quantidade ideal de combustível injetado a alta pressão, através de bicos injetores, se mistura com o ar previamente comprimido, promovendo a queima a uma pressão praticamente constante. A partida se dá, devido a uma centelha elétrica através de um ignitor e uma tocha e, posteriormente, esse processo se auto sustenta.

A combustão gerará gases a alta temperatura, que serão expandidos a uma alta velocidade através dos estágios da turbina geradora de gás. Essa energia será convertida em potência no eixo para acionar o compressor axial de ar e a turbina de potência.

As câmaras de combustão das turbinas podem ser do tipo anular ou tubo anular. Com alta pressão e, conseqüentemente, com alta temperatura, o gás sai da câmara de combustão passando por um bocal que fará sua velocidade aumentar. Ao ser direcionado para uma turbina com um ou mais estágios, terá sua energia térmica transformada em energia cinética e então em energia mecânica, que será usada em parte para mover um equipamento acoplado e outra parte é convertida em potência no eixo para acionar o compressor, reiniciando o ciclo.

Ao fluir para o duto de exaustão, a energia remanescente do gás pode ser aproveitada em um sistema de recuperação de calor (aquecimento de água).

Pode haver variantes durante o processo no que diz respeito ao aproveitamento dos gases, por exemplo, uma parte da energia dos gases de escape pode ser recapturada para pré aquecer o ar na entrada da câmara de combustão (regenerador); o ar nos estágios da compressão pode passar por arrefecimento permitindo a utilização de mais combustível, gerando mais potência (refrigerador) e os gases de escape não queimados podem ser aproveitados, reconvertendo-os e queimando-os em uma segunda câmara (sistema de recombustão).

### **1.1.1 Ciclo de brayton**

Os quatro processos que compõem o ciclo com base no qual funciona a turbina a gás foi descoberto por George Brayton, em 1870, sendo então nomeado Ciclo de Brayton. (Figura 2 - Anexo)

Por ser um ciclo ideal, consiste na aproximação dos processos térmicos que ocorrem nas turbinas a gás, descrevendo variações de estado (pressão e temperatura) dos gases e é utilizado para análise dos ciclos reais, que se desviam do modelo ideal, devido a limitações tecnológicas. A perda do ciclo real pode ser quantificada pela potência proveniente do combustível, descontando-se a potência de acionamento do compressor e a potência líquida. Concluímos então que reduzimos a perda à medida que se reduz a temperatura de escape e se eleva a temperatura de entrada da turbina. Sendo assim, é extremamente importante considerar



a resistência das partes da turbina a altas temperaturas durante a construção destes equipamentos.

Na primeira etapa do ciclo ocorre a compressão, momento em que a pressão e temperatura do ar aumentam e seu volume diminui, porém sua velocidade é mantida constante.

Na câmara de combustão o combustível é injetado e encontra o ar aquecido por estar comprimido, provocando a combustão que consiste na segunda etapa do ciclo. É gerada uma temperatura ainda maior que a anterior, provocando o aumento de volume enquanto a pressão é mantida constante.

Os gases saem da câmara de combustão à alta pressão e temperatura e se expandem conforme passam pela turbina. Na medida em que o fluido exerce trabalho sobre as palhetas, reduzem-se a pressão e temperatura dos gases, gerando-se potência mecânica na terceira etapa do ciclo.

A quarta etapa representa a passagem de calor do fluido para o ambiente diminuindo o então volume e mantendo a pressão constante. Ao se tratar de um ciclo aberto, os gases são liberados.

Comparando-se o ciclo de Brayton (ciclo de funcionamento de uma turbina a gás) com o ciclo Otto (ciclo de um motor convencional de quatro tempos), observamos que no primeiro, a combustão ocorre a uma pressão constante enquanto no segundo, a combustão ocorre a um volume constante. Em ambos os ciclos estão presentes as etapas de admissão, compressão, combustão e exaustão, porém em um motor de ciclo convencional (Otto), essas etapas ocorrem no mesmo local (cilindro) em tempos diferentes, sendo, portanto, um ciclo intermitente. Em uma turbina (ciclo Brayton) essas etapas ocorrem em locais diferentes continuamente.

## **1.2 Sistemas que compõem a turbina a gás**

Alguns parâmetros afetam o desempenho da turbina a gás, como por exemplo, a temperatura de admissão de ar que influencia diretamente na potência de saída e no consumo de combustível. Outro exemplo é a perda de pressão na admissão de ar e no duto de exaustão de gases que tem um grande efeito no desempenho da turbina e deve ser mantida nas condições mínimas para que a potência de saída não seja reduzida consideravelmente.

Para manter esses parâmetros dentro dos padrões, existem sistemas que auxiliam na operação da turbina.

### **1.2.1 Sistema de ar de combustão**

Fornece ar filtrado para participar da mistura na câmara de combustão, além de auxiliar a expulsão dos gases para a atmosfera.

O sistema possui uma caixa de filtragem que retém partículas maiores que um valor especificado. A filtragem é feita para evitar corrosão e erosão nas partes que irão receber o ar. Especialmente em instalações marítimas, o objetivo é reter as partículas de sal contidas no ar.

Nas situações em que as telas sofrerem bloqueio por acúmulo de sujeira, há um by-pass para permitir reparos no filtro sem que haja interrupção do processo.

### **1.2.2 Sistema de ar de ventilação**

Retira calor gerado na combustão, criando um isolante térmico para evitar que, grande parte do calor gerado na câmara de combustão se perca para o ambiente, garantindo a capacidade de produzir trabalho, evitando perda de potência.

### **1.2.3 Sistema de óleo lubrificante**

Tem a função de fornecer óleo na pressão, vazão e temperatura especificadas para arrefecer e lubrificar mancais, engrenagens e outros equipamentos constantemente, evitando defeitos e manutenções não programadas.

O sistema é composto de filtro para retirada de impurezas, resfriadores para abaixar a temperatura do óleo lubrificante após este ser usado na turbina, bombas (elétricas e mecânicas), além de outros instrumentos como sensores.

### **1.2.4 Sistema de óleo de comando**

Fornece pressão hidráulica para os sistemas com atuadores hidráulicos. O tipo de óleo poderá ser o mesmo utilizado pelo sistema de lubrificação se o modelo da turbina permitir. Toda a pressurização do sistema funciona mecanicamente, independente de acionamento elétrico.

O sistema possui bombas, resfriadores, filtros e instrumentos que garantem o bom funcionamento.

### **1.2.5 Sistema de partida**

Comanda a partida da turbina retirando da inércia o conjunto gerador de gás, proporcionando um fluxo de ar para o gerador de gás, turbina de potência e duto de exaustão.

Ao sair da inércia, é iniciada a ignição seguida da combustão. O motor de partida sustenta a rotação e somando-se à injeção de combustível, faz com que o torque no eixo do motor se reduza e a velocidade aumente até que o ciclo se mantenha estável, momento em que este gera energia suficiente para se auto-sustentar. O sistema de partida é então desacoplado e o motor de partida é desligado. Os sistemas de partida utilizados podem ser dos tipos: pneumático (acionado por pressão de ar comprimido), elétrico (acionado por energia elétrica), hidráulico (acionado pela pressão do óleo hidráulico) e eletro hidráulico.

O sistema possui uma embreagem de proteção que desativa o sistema de partida no momento em que a turbina atingir rotação superior à do motor de partida, evitando a sua quebra. O acoplamento e desacoplamento passam a ser feito automaticamente, através da força centrífuga.

### **1.2.6 Sistema de controle de fluxo de ar**

Fornece uma quantidade adequada de ar para que a turbina funcione corretamente, com a eficiência exigida pelo sistema. Controlando o fluxo de ar na admissão, o sistema mantém ajustada a curva de desempenho do compressor com a curva do sistema.

Quando um compressor atua em baixas rotações, sua faixa operacional estável é muito estreita, podendo entrar numa zona de instabilidade e causar danos. Esta instabilidade

operacional é evitada utilizando válvulas de sangria que proporcionam a saída do ar de alguns estágios ou da descarga do compressor para o duto de exaustão da turbina.

Ajustando o fluxo de acordo com a condição operacional, evita-se ocorrências como interrupção parcial ou total do fluxo de ar que, em grande intensidade, pode gerar um incêndio além de graves avarias na turbina.

A curva do sistema é descrita pelas pressões de admissão e descarga do compressor e esta envia informações do estado de funcionalidade ou diagnóstico para defeitos. Esta curva deverá interagir com a curva de vazão do sistema no ponto requerido. A ajustagem é feita alterando o ângulo de ataque do fluxo de ar nos rotores, fazendo com que a curva se aproxime do desejável.

### **1.2.7 Sistema de óleo combustível**

Fornece combustível limpo e purificado a uma determinada pressão, vazão e temperatura para ser utilizado no processo.

É de extrema importância a presença de uma planta de purificação de combustível para evitar que as impurezas causem desgastes prematuros, corrosão, combustão irregular e outras avarias.

A dosagem é feita automaticamente por meio de sensores, controladores e válvulas que atuam no controle do fluxo de combustível. O processador de demanda do combustível recebe um sinal de temperatura do sensor de velocidade do gerador de gás e um sinal do sensor de velocidade da turbina de potência. Após os sinais serem analisados, o controlador de combustível é acionado, enviando um sinal para o atuador de combustível para atender rigorosamente a quantidade de combustível exigida para aquele momento.

Se o combustível utilizado for gás, é necessário que haja um separador de condensado que irá retirar toda a umidade contida no gás para que seu poder de combustão não seja reduzido e não gere substâncias corrosivas.

Se houver dois sistemas de combustível, por exemplo, diesel e gás natural, o controle do fluxo é feito automaticamente com a turbina, operando sem provocar variações na rotação.

### **1.2.8 Sistema de ignição**

Responsável por produzir as centelhas de alta tensão que irá proporcionar a queima do combustível durante a partida.

O sistema consiste em ignitor de faísca de alta tensão, excitador de ignição e cabo de interconexão. Durante a partida, o ignitor é energizado pelo excitador de ignição e então, inflama a mistura de ar com combustível. O ignitor só é desenergizado quando a combustão se torna autossustentável.

### **1.2.9 Sistema de proteção**

Composto de sensores para monitoração. Podemos dividi-los em três tipos:

#### **1.2.9.1 Sensores de vibração e temperatura dos mancais**

São feitas monitorações nos mancais que apoiam o eixo do conjunto gerador de gás e o eixo da turbina de potência. A monitoração de vibração radial é feita através de sensores por deslocamento, aceleração e sensores de deslocamento axial, enquanto a de temperatura é feita utilizando sensores tipo termorresistência.

#### **1.2.9.2 Sensores de temperatura dos gases gerados**

São termopares instalados entre a exaustão e a admissão da turbina, proporcionando uma monitoração de extrema importância para a vida útil do equipamento, sendo um item de limitação na operação.

#### **1.2.9.3 Sensores de velocidade**

São sensores magnéticos, localizados sobre engrenagens instaladas nos eixos geradores de gás e eixos da turbina de potência. A monitoração da velocidade do eixo também é item de limitação na operação da turbina. No eixo da turbina de potência também são utilizados

sensores reservas de emergência de sobrevelocidade (*backup overspeed*). Sendo a turbina de potência uma turbina livre, a necessidade de sua monitoração é maior.

### **1.3 Vantagens da turbina a gás**

Comparando a turbina a gás com outros sistemas de propulsão, podemos analisar algumas vantagens.

Em relação à Turbina a vapor, a turbina a gás é menor e mais barata, sendo construída e montada mais rapidamente e dispensando o uso de caros sistemas de tratamento de água. Possui apenas um conjunto de filtros na entrada da turbina, sendo eles compactos e de fácil manutenção. Utiliza os gases de combustão como fluido de trabalho, constituídos em grande parte de ar atmosférico, além de ser ligada muito mais rapidamente, possuindo uma grande aceleração inicial, contrária à turbina a vapor que se deve esperar que a pressão das caldeiras atinja um nível mínimo.

Destaca-se também a melhor relação peso/potência e permite a redução do espaço ocupado, atendendo tanto embarcações de pequeno quanto de grande porte. A redução de espaço se deve ao fato da turbina a gás ser acionada pelo gás quente produzido na combustão, dispensando a utilização de um fluido intermediário e, conseqüentemente, de espaço para gerá-lo e dar-lhe passagem, resultando em unidades mais compactas para produzir os mesmos níveis de potência. Ocupando um menor espaço, possivelmente reduz-se a praça de máquinas e aumenta-se então a capacidade de carga da embarcação.

Em relação aos motores de combustão interna, a turbina a gás apresenta menos perdas por atrito mecânico, menos ruídos, menores problemas de balanceamento, maior potência, menor gasto com lubrificante, maior confiabilidade, além de não apresentar movimento alternativo.

### **1.4 Conclusão**

Embora este sistema de propulsão não seja muito utilizado atualmente nas embarcações, ele vem sendo amplamente desenvolvido e vem recebendo tecnologias novas, visando atender o consumidor em suas necessidades. A turbina a gás, apesar de seu alto gasto

em consumo de combustível, apresenta vantagens que se aprimoradas, poderão gerar melhores custo- benefícios, fazendo com que a turbina a gás ganhe maior espaço na indústria marítima.

## CAPÍTULO II

### Propulsão elétrica

#### 2.0 Histórico da propulsão elétrica

No início do século XX, com o desenvolvimento dos submarinos da época, fez-se necessário uma tecnologia que substituísse os motores de combustão interna pela impossibilidade destes acionarem os grupos geradores no momento em que o submarino estivesse submerso. Essa impossibilidade se dá devido ao fato de inexistir ar suficiente para a queima do combustível no MCI. Somente quando o submarino está na superfície, ou próximo dela utilizando o snorkel, é possível operar o MCI para acionar os geradores que energizarão motores elétricos de propulsão (MEP) e carregarão as baterias. Quando submerso, o MCI não opera e as baterias energizam o MEP e alimentam todos os outros equipamentos do submarino. Para os equipamentos que precisam de corrente alternada faz-se o uso de inversores.

Devido ao trabalho submerso, a propulsão elétrica é a mais viável alternativa para ser utilizada nos submarinos e atualmente são usados com frequência, sistemas baseados em motores elétricos por navios mercantes.

O inconveniente na utilização para navios mercantes é o grande espaço ocupado pelo armazenamento dos grupos de baterias, além da manutenção necessária, gases gerados e grande peso que iria interferir no cálculo de estabilidade. Também seria necessário usar inversores de frequência para transformar corrente contínua em corrente alternada para a operação de alguns dispositivos.

O uso em navios mercantes é, então, limitado a alguns dispositivos eletrônicos e um sistema de carga para suprir energia caso o navio necessite.

Apesar das desvantagens, esse tipo de propulsão possui um grande diferencial, ele fornece uma resposta rápida ao sistema e pode ser melhorado tecnologicamente com facilidade, o que faria aumentar a potência do hélice.



Há ainda, navios que utilizam motor elétrico como meio de propulsão e possuem baterias, porém em pouca quantidade e dispostas em locais altos e ventilados, para que ocorra o arejamento dos gases explosivos gerados durante o processo.

Na Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar – SOLAS 1974 e seu protocolo de 1978, incorporando todas as emendas de 1997, encontramos nas Regras do Capítulo II-I, parte D, a questão das baterias a bordo que destaca a exigência de que os navios mercantes tenham uma fonte de energia alternativa para emergências. Tornando o uso de baterias a bordo dos navios mercantes, limitado aos sistemas temporários destinados a manter operando a automação, alarmes, comunicações internas, o GMDSS e a iluminação transitória (antiga emergência). As baterias operam como um "no-break" para os sistemas de automação durante uma eventual falta de energia dos geradores de bordo.

## **2.1 Uso e desenvolvimento da propulsão elétrica nos navios mercantes**

Após a segunda guerra mundial, foram produzidos rebocadores de alto mar que utilizavam um sistema de propulsão similar ao de propulsão elétrica, devido à vantagem de estes motores permitirem variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor. O que é muito importante no manejo de grandes navios e em situações de reboque e salvamento.

O número de embarcações construídas com sistema elétrico de propulsão cresceu com o desenvolvimento das atividades petrolíferas. Com a necessidade de estas embarcações se manterem fixas em relação a um ponto, quando em operação com plataformas, foi desenvolvido um sistema que garantisse essa estabilidade: o Sistema de Posicionamento Dinâmico. Este sistema mantém a embarcação no ponto determinado pelo operador, acionando hélices transversais e azimutais e usando como referência, informações do Sistema de Posicionamento Global, além de um ponto fixo de referência e instrumentos de indicação de movimento do navio.

O Sistema DP começou a se desenvolver em meados da década de 70 e se mostra de grande importância, devido à responsabilidade de manter em segurança as embarcações durante as operações.

Outro empecilho encontrado por grandes navios com hélices somente na popa é a dificuldade se deslocar lateralmente ao manobrar em portos, no momento da

atracação/desatracação. Para tornar possível esse movimento axial, rebocadores portuários são utilizados com frequência, porém esta operação pode tornar-se complicada dependendo do local além de gerar muitos gastos. Para resolver estes problemas, estão sendo instalados nos navios, hélices laterais na proa e na popa, conhecidos como “bow thruster” e “stern thruster”, respectivamente e hélices transversais.

Os thrusters podem ser acionados por motores hidráulicos ou elétricos, porém este último é mais utilizado no Brasil por apresentar maior rapidez de resposta e menores dimensões, apesar de empregar altas tensões elétricas em alguns casos. São normalmente motores de indução de corrente alternada que possuem altas correntes de partida. Essa alta tensão ocorre no momento da reversão de marcha durante a manobra.

Para que este detalhe não trouxesse mais desvantagens, foi desenvolvido o hélice de passo controlável que, através de um sistema hidráulico interno que possibilita o giro das pás, é capaz de movimentar o navio para qualquer direção, mesmo com o eixo girando sempre no mesmo sentido e velocidade. Atualmente, esse sistema está sendo empregado nos thrusters e também no sistema de propulsão principal dos navios mercantes, tornando mais seguro e exato o sistema de posicionamento dinâmico.

Outro problema gerado pelo uso de corrente alternada é a oposição desta às variações de corrente de linha e/ou do barramento, propiciando a ocorrência de valores harmônicos de frequência, que perturbam os controles automáticos destinados a manter em paralelo no barramento, os geradores das embarcações. Para minimizar este problema da corrente poderia haver a separação da planta elétrica, uma para cada eixo, mas ainda assim, o paralelismo dos Motores de Combustão Principais no barramento poderia ser “derrubado” pelos harmônicos decorrentes ou pelas flutuações de carga e/ou pelos harmônicos decorrentes.

Para controlar a frequência (rotação), foram introduzidos nos navios, equipamentos eletrônicos conhecidos como inversores ou controladores de frequência. Além da rotação, eles controlam o torque dos motores elétricos através da sintetização de ondas senoides, através de ondas quadradas. Porém, para otimizar o torque é necessário aplicar sensores de posição no rotor do motor elétrico, uma vez que o maior torque é atingido quando a gaiola de indução e os campos do motor estão perto de estarem com a mesma fase.

Para que todas essas questões fossem solucionadas, foi lançado no início do século XXI o sistema AZIPOD®, com energia gerada em corrente alternada e distribuída para todo o navio, inclusive para os motores elétricos principais. Neste sistema, o motor elétrico fica

submerso, sob a popa da embarcação e o hélice é instalado no prolongamento do eixo do motor elétrico.

Antes de chegar aos MEPs, a corrente é retificada para CC e então invertida pra CA, com frequência e tensão apropriadas para o serviço no momento. As embarcações que utilizam este sistema dispensam o uso de leme, de thruster lateral a ré e de muitas partes móveis usadas para transmissão, tendo em vista que o AZIPOD é capaz de girar 360° em torno do seu suporte vertical.

### **2.1.1 Propulsão elétrica em corrente contínua**

A propulsão em corrente contínua permite à embarcação produzir variações suaves de velocidade, principalmente na partida, melhorando então a capacidade de manobra, o que explica a existência de muitas embarcações utilizando esse sistema atualmente. Para os rebocadores, essa suavidade é fundamental para evitar avarias no costado do navio que estão empurrando e manter a integridade do casco de ambos.

Ainda, muito usada, a antiga planta de propulsão elétrica em corrente contínua é composta por quatro geradores elétricos de propulsão em 220 volts CC e quatro motores elétricos de propulsão. Dois por eixo, localizados no eixo propulsor entre o mancal de escora e o hélice. Os controles consistem em chaves manuais e reostatos, todos com dissipação de calor muito grande, tornando-se um empecilho em operações onde o clima é tropical.

A redução da resistência no reostato de campo provoca a aceleração do eixo propulsor. São os reguladores de velocidade dos motores de combustão ou os reostatos de campo que mantém a tensão nos geradores elétricos de propulsão (GEP).

Sendo o MEP em corrente contínua um motor do tipo série universal com coletor (comutador) de teclas e muitas escovas, ele possui uma desvantagem no que diz respeito ao atrito dessas escovas contra o coletor. Um desgaste acelerado é provocado pelo uso contínuo e pelas grandes variações de corrente em manobras, tornando necessárias vistorias e manutenções frequentes, complexas e caras.

Dentre outros procedimentos, deve-se limpar o coletor com materiais não abrasivos e não condutores, além de fazer a limpeza do isolante no espaço entre as teclas, atentando para não destruir o material que isola uma tecla da outra. Outra providência que deverá ser tomada é efetuar, de forma detalhada e minuciosa, a calagem ou ajuste angular do porta-escova. Este

ajuste deverá ser com a máquina circulando corrente e resultará em duas possíveis respostas: nenhum centelhamento ou quase nenhum centelhamento na área de contato entre as teclas do coletor e as escovas.

Deverá também ser checada a tensão da mola que mantém a escova faceando o coletor. Essa checagem é feita com o auxílio de uma folha de papel em branco colocada entre o coletor e as escovas e fazendo girar o motor de forma manual e lentamente. O carvão delineará no papel a superfície de contato com o coletor indicando, se houver, o desgaste.

As centelhas que são causadas pelo atrito e pela alta corrente que passa pelas escovas, à medida que vão se desgastando, provocam certo aquecimento. Ocorre então um rápido agravamento da situação, aumentando, exponencialmente, as centelhas e o calor nas escovas. O coletor do motor pode ser avariado pelo calor, se não houver manutenção dessas escovas quando necessário, além da possibilidade de um incêndio ser gerado por essas centelhas misturadas a um ambiente não controlado. Para dissipar o calor e evitar o incêndio são utilizadas ventoinhas. Se o ambiente onde o motor é instalado não é controlado adequadamente e considerando que o desgaste das escovas gera uma grande quantidade de partículas de carbono, além da poeira já presente na praça de máquinas, uma grande quantidade de impureza penetra nessas máquinas, tornando-as muito vulneráveis a baixas resistências de isolamento nos seus campos, podendo ocasionar a quebra do equipamento.

As embarcações com propulsão convencional e MCP, diretamente ligado ao conjunto eixo – hélice, dão partida com rotações de aproximadamente cinco nós, devido ao fato do MCP “morrer” em rotações menores. Para solucionar esse problema, deve-se partir o MCP e pará-lo em seguida, porém a reprodução desta técnica é restringida pelo limite de energia acumulada nas ampolas de ar comprimido para sucessivas partidas, já que esta é dada pela pressão de ar liberada de um determinado pistão. A quantidade de partidas pode variar aproximadamente de uma a duas dúzias. Após um excesso de sucessivas partidas e paradas do MCP, não é rara a necessidade da embarcação de ficar dando voltas no mar, ou até ficar parada, aguardando suas ampolas de ar serem carregadas.

Mesmo com o navio atracado ou fundeado, o motor diesel dos rebocadores com propulsão elétrica em corrente contínua está sempre operando, além de permanecer na mesma rotação, acionando o gerador elétrico principal. Os MEPs acionam os hélices propulsores e este movimento pode ser feito lentamente, variando um RPM por vez, a partir do zero. Este comportamento permite ajustar o deslocamento do rebocador, conforme as necessidades do

movimento, evitando então, choques bruscos e até rompimento no cabo ou no dispositivo de reboque.

Devido à necessidade de manobrabilidade, principalmente pelas embarcações de apoio e reboque, a propulsão elétrica em corrente contínua consiste na solução para a segurança dessas, sendo então, adotada com frequência atualmente, apesar de todos os empecilhos e custos de manutenção.

### **2.1.2 Propulsão elétrica corrente alternada**

Considerando as limitações tecnológicas da propulsão elétrica por corrente contínua, foram desenvolvidos os motores elétricos de corrente alternada que possuem uma vida útil muito maior, por não haver o desgaste excessivo das escovas, permitem trabalhar com uma menor corrente e maior tensão, além de utilizarem chaveamentos eletrônicos que são mais rápidos, menores, mais precisos, mais baratos e eficientes do que as chaves eletromecânicas utilizadas para corrente contínua.

Seu desenvolvimento se deu em virtude da evolução da eletrônica de potência, utilizando dispositivos de microeletrônica que efetivamente são semicondutores que permitem ou impedem a passagem de corrente elétrica e são capazes de chavear altas correntes e altas potências, podendo controlar e processar a potência elétrica.

Os MEPs, neste tipo de sistema, são motores de indução em corrente alternada caracterizados pela robustez, simplicidade e baixo custo. A velocidade é variada através de chaveamentos eletrônicos que isoladamente ou de modo combinado atenderão às necessidades do navio.

Para que os motores estejam sempre trabalhando na faixa de melhor desempenho e consumo de combustível, pode-se variar a quantidade de MCPs em carga, conforme a condição e velocidade da embarcação.

As formas de uso da corrente alternada como propulsão são: Conversores Síncronos (é feito um arranjo que possibilita haver redundância, tornando possível o prosseguimento da operação na ocorrência de falhas, garantindo a segurança da manobra); Cicloconversor (empregado quando é preciso obter uma resposta dinâmica em baixas velocidades, por exemplo, quebra-gelos e *Ferries boats*.) e Modulação por Largura de Pulso (PWM) (caracterizado por um link de corrente contínua, alimentado pelo sistema de corrente

alternada usando diodos. O nível de frequências harmônicas geradas é menor do que o nível produzido pelo cicloconversor e proporcional à velocidade do motor elétrico).

Atualmente as embarcações mercantes empregam modernos sistemas de geração de energia, utilizando variados elementos controladores de frequência, tensão, corrente e fase da energia gerada. Por serem muito sensíveis, esses controles podem provocar alguns problemas nos sistemas que utilizam corrente alternada, como por exemplo, a geração de harmônicos de frequência e picos de corrente, quando a carga elétrica é variada.

Em se tratando do consumo de energia, esses harmônicos não trazem grandes problemas, porém, induzem sinais falsos nos sensores da automação, provocando erros na interpretação desses equipamentos, o que resulta na instabilidade dos geradores elétricos de propulsão em paralelo no barramento, podendo causar o desligamento desses sistemas.

Ao notar que é, principalmente durante as variações de velocidade e sentido de rotação das máquinas, que ocorre a maior variação de carga na propulsão elétrica, concluímos que é peculiar ocorrer a instabilidade no paralelo dos geradores elétricos durante as manobras do navio, podendo desligar toda a geração de energia.

Foi desenvolvida então, uma tecnologia que, ao evitar esse excesso de corrente, proporciona às manobras maior segurança. Consiste na utilização de motores elétricos com sistemas azimutais que são instalados, principalmente, em navios que trabalham frequentemente com manobras. Esta técnica foi bem aceita, devido ao custo benefício ser menor quando comparado com o motor diesel, por exemplo.

Também movido pelo motor elétrico, o hélice lateral da proa (bow thruster) será instalado somente em navios que realmente irão necessitar. Apesar de esse hélice proporcionar uma economia no uso de rebocadores durante a atracação, deve-se analisar se compensa, pelo fato desse não ser utilizado em grandes viagens, já que a necessidade de manobra é reduzida e o hélice não tem efeito em velocidades acima de seis nós.

## **2.2 Formas de partida dos motores elétricos**

As formas de partida mais comuns dos motores elétricos são: sistema direto, estrela-triângulo e soft-starter. Os sistemas direto e estrela-triângulo são os mais encontrados a bordo. Os três métodos serão comparados em sequência.

### **2.2.1 Método de partida direta**

Consiste no sistema no qual o motor é conectado diretamente à rede elétrica. A partida então, se dá, quando aplicamos a tensão nominal sobre os enrolamentos do estator do motor, de maneira direta.

Possui um menor custo se comparado aos outros métodos, pois não se faz necessário outro dispositivo de suporte que auxilie na minimização das amplitudes de corrente durante a partida. É simples de implementar e possui alto torque de partida.

Em contrapartida, apresenta alta corrente de partida, o que provoca queda de tensão na rede de alimentação, podendo causar interferência em equipamentos presentes na mesma instalação. Para implantá-lo, se faz necessário sobredimensionar cabos e contadores, e apresenta certa limitação do número de manobras/hora.

### **2.2.2 Método de partida estrela-triângulo**

Compõe-se de motores elétricos trifásicos, apresenta custo reduzido, além de não haver limite do número de manobras/hora. Se houver uma grande distância entre o motor e a chave de partida, haverá a necessidade de mais cabos, aumentando assim, o custo da instalação.

Manifesta uma redução do torque de partida a aproximadamente  $1/3$  do nominal e comparando-se à partida direta, a corrente de partida é reduzida a  $1/3$ .

### **2.2.3 Método de partida sof-starter**

Conhecido também como método de partida eletrônica, este sistema é composto de pontes retificadoras, utilizando tiristores ao invés de diodo comum.

O sistema controla a tensão sobre o motor através do circuito de potência contendo a corrente de partida, tornando-a próxima da corrente nominal. Sua manutenção é complicada e a instalação é de alto custo, devido à complexidade eletrônica do sistema e ao alto preço de seus componentes.

Não apresenta limitação do número de manobras/hora e possui uma longa vida útil, por não conter partes eletromecânicas móveis. Proporciona um torque de partida próximo ao torque nominal e pode também ser empregado para desacelerar o motor.

## **2.3 Sistemas de governo**

Serão apresentados sistemas em que a propulsão elétrica vai incorporar o sistema de governo.

### **2.3.1 Propulsão por PODS**

É basicamente um sistema que contém o motor elétrico conectado diretamente ao hélice ou propulsor.

O seu desenvolvimento e a ampla utilização devem-se à sua capacidade de movimentar-se 360°, sendo frequentemente instalado em embarcações de apoio, navios de cruzeiros e também em plataformas.

Estão sendo construídos motores para este sistema com potência superior a 25MW e que fornecem a energia para toda a propulsão minimizando o domínio do sistema IFEP (propulsão elétrica de total integração), nos quais os motores elétricos não são ligados diretamente ao hélice.

Este sistema foi desenvolvido pela ABB Oy Marine e sua marca registrada como Azipod®, porém mais detalhes serão apresentados em um capítulo destinado a este sistema, posteriormente.

### **2.3.2 Sistema Schottel**

Desenvolvido na década de 70, este sistema não era operado exclusivamente por motor elétrico, mas já manifestava a possibilidade de grande evolução, devido a alta capacidade de manobra.

É composto de hélices capazes de girar em torno do eixo, movimentando-se em Azimute e dispensando a máquina do leme.



Inicialmente havia uma grande distância entre o motor principal e o propulsor à ré. Foi desenvolvida então outra planta, onde se eliminou o longo eixo entre o hélice e o motor principal, sendo introduzida a propulsão elétrica.

### **2.3.2.1 Sistema Schottel com propulsão elétrica**

Neste novo modelo do sistema, certo número de geradores são postos em ação por igual quantidade de motores principais, que por sua vez, são acionados a diesel.

Objetivando reduzir consideravelmente a extensão do eixo entre o motor principal e o hélice, nessa nova planta, foram posicionados os quadros elétricos dos propulsores próximos ao propulsor.

Há um sistema supervisor que fará o controle da demanda de consumo da embarcação e, de acordo com a necessidade de energia, acionará ou não outros motores que entrarão ou não em barramento automaticamente.

Esse sistema supervisor aciona o motor diesel do MCP (já programado para ser acionado), verifica a geração e excitação do GEP, fecha o disjuntor e distribui a carga para, então, autorizar o aumento da velocidade da embarcação. Todo esse processo é executado em menos de 20 segundos.

Como já citado anteriormente, a maior variação de carga deste sistema ocorre durante as variações de velocidade e sentido de rotação do hélice, ou seja, principalmente durante as manobras. Para que não ocorram blackouts durante a manobra, devido ao súbito aumento da demanda de energia, são instaladas chaves seccionadoras para desarmar os circuitos não essenciais.

### **2.3.3 Thrusters**

Localizado na proa ou na popa da embarcação (bow thrusters e Stern thrusters respectivamente), este equipamento, composto de motor e hélice, auxiliam na manobra, proporcionando impulsos laterais que facilitam a atracação/desatracação nos portos e as manobras durante operações com plataformas de petróleo.

Inicialmente os Thrusters eram acionados por motores diesel, porém, devido às vantagens já expostas atualmente utilizam motores elétricos.

Por serem utilizados esporadicamente, os Thrusters permanecem parados sem uso por um longo período e expostos à umidade, o que pode exigir manutenções periódicas, aumentando o custo do sistema.

A unidade é montada em túneis construídos transversalmente na proa ou na popa do navio, abaixo da linha d'água. Por ser um túnel, o impulso pode ser gerado tanto para boreste quanto para bombordo. É necessário que a estrutura seja elaborada de modo que sempre permaneça submersa, evitando efeitos adversos sobre o hélice e sobre a estrutura do casco em torno desse, além de garantir a eficiência do propulsor.

É importante lembrar que o uso dos hélices laterais oferece resistência ao avanço do navio, sendo prudente operar este sistema com responsabilidade e sensatez. Sua maior eficiência é conquistada enquanto o navio estiver sem seguimento.

Sua unidade de potência é uma máquina auxiliar, ou seja, não está ligado ao sistema de alimentação principal do navio.

O seu vasto desenvolvimento e frequente presença nas embarcações atuais se devem, principalmente, à economia feita com a dispensa de rebocadores durante a manobra nos portos, além de proporcionar maior segurança durante operações com plataforma ou entre dois navios.

#### **2.3.4 Propulsão elétrica com reversão**

Motores elétricos com reversão podem gerar igual impulso em qualquer sentido. Esse sistema é composto por vários motores com geradores e é prioritariamente instalado em embarcações que trabalham com rápidas e numerosas estadias, necessitando atracar e desatracar frequentemente.

Em embarcações do tipo Ferry são essenciais por evitar que o motor principal opere em baixa carga durante todas as manobras e carbonize seus cilindros, exigindo manutenção e, conseqüentemente, gerando altos custos.

Economicamente não é viável o uso deste sistema em embarcações que fazem longas travessias, já que sua vantagem é exposta apenas quando o motor principal está operando na faixa de manobra.

## **2.4 Distribuidor de carga**

Para manter a carga elétrica do navio dividida equilibradamente, torna-se necessária a presença de um distribuidor de carga, equipamento indispensável aos navios com propulsão elétrica e vários geradores. Sua função é dividir toda a carga da embarcação entre os geradores em operação, automaticamente.

A instalação do distribuidor é absolutamente necessária, uma vez que não é possível dividir a carga entre vários geradores manualmente, durante uma manobra em que a rotação do hélice varie frequentemente.

## CAPÍTULO III

### Sistema de passo controlável

#### 3.0 Definição

Os hélices de passo controlável – HPC (Controllable pitch propeller – CPP) são aqueles que, ao contrário dos de passo fixo (HPF), podem ter a angulação entre as pás variadas a partir de um acionamento hidráulico alterando o sentido do impulso.

A criação desse sistema se deu a partir do acentuado uso de turbinas a vapor, as quais necessitam de um dispositivo para inverter o sentido da máquina. Para facilitar a manobra de inversão foi então desenvolvido o HPC para que fosse necessário apenas adaptar o passo do hélice conforme o desejado ao invés de inverter a rotação do eixo.

Desta maneira, outros sistemas também foram beneficiados. Os motores a diesel, por exemplo, possuem um torque máximo dentro de uma faixa limitada, e com essa tecnologia, pode atuar sempre com máxima eficiência.

As pás de um HPC giram em um único sentido descartando a necessidade de uma embreagem reversa, utilizada no sistema de passo fixo para produzir empuxo reverso, no caso de o navio precisar parar ou inverter o seguimento.

Ao operar sempre com sentido e rotação constantes, o HPC permite uma redução no consumo de carga elétrica e conseqüentemente no consumo de óleo combustível, considerando que os motores auxiliares estarão parados e não consumirão óleo diesel.

Usando o hélice de passo fixo, não se pode controlar a potência gerada pelo motor e a força de propulsão produzida, gerando então desperdício de energia. Com o hélice de passo controlável esses empecilhos podem ser evitados gerando mais economia no combustível.

#### 3.1 Funcionamento

O mecanismo que controla o movimento das lâminas pode ser operado a partir da praça de máquinas ou do passadiço através da pressão do óleo usando cilindros hidráulicos. Se o sistema hidráulico falhar, ou até mesmo os transmissores de comando, as lâminas podem ser

travadas na posição de passo a vante com a ajuda de um dispositivo de bloqueio (pinos de lacre são montados nas ranhuras de travamento), fazendo com que o HPC passe a se comportar como um HPF.

### **3.1.1 Funcionamento interno**

Há diferentes modelos de hélices de passo controlável no que diz respeito à localização do cilindro hidráulico. Esse pode ser montado no cubo ou no eixo do hélice. (Figura 3 - Anexo).

Com o cilindro hidráulico em funcionamento, o movimento linear do pistão é convertido por diversas ligações mecânicas para movimento rotativo, acionando as engrenagens acopladas em cada pá, variando o ângulo como desejado.

Diferentes arranjos de cilindro hidráulico e sistema de alimentação de óleo podem ser instalados. A caixa para distribuição de óleo pode ser montada na parte dianteira da caixa de engrenagens ou na transmissão do eixo.

O modelo que contém a alimentação de óleo na parte dianteira da caixa de engrenagens possui um cilindro hidráulico com o pistão ligado diretamente a uma peça em formato de meia lua constituindo uma estrutura mais simples com um mínimo de peças móveis, apresentando maior confiabilidade.

São sobre esta peça em forma de meia lua que são acoplados os pinos da manivela que operam o suporte das pás, onde essas são parafusadas. Esses suportes são construídos em grandes dimensões para minimizar a tensão no sistema.

O sistema é vedado por um anel de vedação entre o bosso e a base da pá. O óleo hidráulico flui através de um tubo interno e um externo. Esses dutos são concêntricos e se localizam dentro de um eixo oco. O tubo de óleo duplo também tem a função de indicar o passo atual do hélice, funcionando como um sistema de retorno.

O sistema que contém o cilindro hidráulico dentro do eixo do hélice apresenta uma estrutura de menores dimensões. O cilindro hidráulico move a peça suporte das pás (em forma de meia-lua) através de uma haste que passa através da linha do eixo oco.

### 3.1.2 Funcionamento externo

Na figura 4 (Anexo) é possível ter uma melhor visão de como a mudança do ângulo das pás promove a mudança no sentido do impulso.

O desenho mostra a seção transversal das pás (seguindo a linha tracejada, observamos em uma mesma coluna angulações diferentes para cada parte da mesma pá) e as setas mostram a direção das forças geradas que empurram a embarcação.

No primeiro momento o navio está se movendo para vante (1ª coluna de pás). Quando a pá é movida para a posição zero (2ª coluna de pás), as forças de propulsão que atuam nos dois lados são iguais em magnitude, mas oposta em sentido. Embora a força de propulsão líquida seja zero, a hélice absorve uma grande quantidade de energia para convertê-la em esteira de turbulência.

Para reverter o movimento do navio, as lâminas são movidas ainda mais (3ª coluna de pás), isso vai resultar em um impulso propulsor para frente, facilitando a reversão.

A posição das lâminas é ajustada conforme a carga do navio.

### 3.2 Características

A mudança de sentido do impulso gerada pela mudança na angulação das pás pode ser obtida em segundos, dependendo da carga do navio, o que propicia uma grande capacidade de manobra.

O sistema do HPC é complexo exigindo difíceis reparos e manutenções, além de ser vulnerável devido a inúmeros componentes hidráulicos e anéis. Porém, apresenta facilidade na troca da pá em caso de avarias, já que não se faz necessária a desmontagem completa do hélice visto que as pás são parafusadas ao bossô.

O propulsor com HPC pode ser conectado a um gerador de eixo que poderá fornecer energia para o navio até o momento em que motor principal seja posto em funcionamento. O HPC poderá ser usado para manter a frequência do gerador como visto que o motor se move em rpm constante.

No caso de ser necessário o uso de energia extra durante uma viagem, um gerador auxiliar pode ser usado para fornecer energia para o gerador do eixo. Esse processo ocorre

principalmente em manobra e, se ocorrer, o motor principal deve ser desconectado da engrenagem de redução para impedir a ocorrência de danos e avarias.

## **CAPÍTULO IV**

### **Propulsão cicloidal**

#### **4.0 Definição**

Em 1926 surgiu o conceito de sistema de propulsão cicloidal. O sistema Voith Schneider, o único com esse princípio em todo o mundo, foi desenvolvido pela Voith partindo da idéia do engenheiro austríaco Ernst Schneider.

Considerado um modelo de propulsão não convencional, o sistema foi evoluindo ao introduzir diferentes quantidades de pás propulsoras e promover a mudança na posição destas. Atualmente o modelo utilizado é composto de seis pás.

A unidade de propulsão Voith Schneider combina em uma única unidade governo e propulsão permitindo gerar um impulso da intensidade que necessitar em qualquer direção rapidamente, precisamente e de forma continuamente variável.

#### **4.1 Composição e funcionamento do Voith Schneider**

Será descrito a seguir a composição e explicado o funcionamento do propulsor Voith Schneider.

##### **4.1.1 Composição**

O sistema consiste de um invólucro de rotor em forma de disco que termina nivelado paralelamente com a parte inferior do navio e é equipado com um número de lâminas móveis paralelas que giram em torno de um eixo vertical.

São dois discos que se localizam na mesma linha transversal a vante do rebocador. Cada unidade contém uma estrutura que, além de proteger o propulsor, também direciona o fluxo de água aumentando a eficiência.



### 4.1.2 Funcionamento

Os discos giram em velocidade constante e, para gerar impulso, cada uma das pás do hélice executa um movimento oscilatório sobre seu próprio eixo. Através da variação do ângulo de cada lâmina é definido a intensidade e o sentido da força.

Este controle é feito pelo oficial através de um volante e duas alavancas sendo o movimento transmitido mecanicamente para as pás. O volante determina o movimento e a intensidade da força no sentido transversal e as duas alavancas (uma para cada propulsor) são operadas simultaneamente, determinando também o movimento e a intensidade, porém no sentido longitudinal. O mesmo impulso pode ser gerado para qualquer direção.

O que difere o sistema cicloidal do sistema de propulsão com hélice de passo controlável é apenas o posicionamento das pás em relação à força exercida, visto que no sistema cicloidal as pás estão posicionadas transversalmente ao impulso.

O disco é ligado às lâminas por um conjunto de engrenagens que garante a angulação exata da pá em cada momento da rotação do tambor fazendo com que em parte da rotação ela gere impulso e em outra parte ela apenas corte a água, tornando possível um correto direcionamento da embarcação.

Na figura 5 (Anexo) é relacionado o movimento da embarcação com a angulação das pás.

Consideramos: N = Ponto de Controle

O = Centro

S = Impulso

Figura 1 : Sem rotação, sem impulso. Embarcação parada.

Figura 2 : Seguimento a vante

Figura 3 : Giro para bombordo

Figura 4 : Movimento transversal para bombordo

Figura 5 : Seguimento a ré

Figura 6 : Guinar a proa para BB com seguimento a vante e a ré.

## 4.2 Particularidades

A instalação do sistema cicloidal proporcionará à embarcação um grande calado que pode impedi-la de operar em águas rasas para evitar avarias ou encalhes.

O casco que receberá os discos possui o fundo reto e largo, o que afeta a hidrodinâmica e compromete operações em mar aberto ou em alta velocidade. Para garantir a estabilidade da embarcação, é instalado a ré um skeg (extensão da quilha) de grandes proporções. Figura 6 (Anexo).

Em relação aos outros sistemas de propulsão, este apresenta menor emissão de ruídos, maior manobrabilidade e maior força de tração, apesar de oferecer maior custo, maior peso e inferior relação entre tração estática e potência do motor.

Devido ao fato de só haver força motriz em parte do seu curso, já que na outra parte as pás estão apenas cortando a água, ocorre uma perda de eficiência propulsiva considerável.

## 4.3 Comparação entre os sistemas Voith Schneider e Azimutal

O Sistema Cicloidal (Voith Schneider) apresenta, assim como o azimutal, grande capacidade de manobra podendo movimentar a embarcação para qualquer direção com o mesmo impulso.

Se comparado o uso dos dois sistemas com igual tração estática, percebemos que o Voith Schneider apresenta um deslocamento superior ao azimutal, porém oferece maior custo de instalação e manutenção.

Ao apresentar maiores dimensões, o propulsor cicloidal se torna mais eficiente, mas por outro lado, ao oferecer um maior calado, impede que a embarcação atinja velocidades adquiridas com o azimutal.

## CAPÍTULO V

### Propulsão Azipod®

#### 5.0 Definição

Antes de aprofundar em Azipod®, é preciso entender no que consiste a propulsão azimutal. Este sistema é composto de um propulsor capaz de girar 360° direcionando o fluxo de água para qualquer direção, dispensando o uso de lemes.

O thruster azimutal pode ser rebatível, para ser usado apenas em manobras e não comprometer a sua integridade quando não estiver em uso, ou fixo quando usado para propulsão. Sua máquina motriz fica localizada no interior da embarcação.

O sistema “azimutal podded drive” é basicamente um propulsor azimutal (capaz de girar 360°), porém contém o motor elétrico conectado diretamente ao hélice ou propulsor. Este sistema foi desenvolvido pela ABB Oy Marine e sua marca registrada como Azipod®.

O Azipod® surgiu no início da década de 90 e continua se desenvolvendo a cada dia com a instalação de novos componentes que auxiliam na redução do consumo de combustível e no aumento da potência.

Na composição, o motor elétrico de propulsão fica instalado no interior do POD (podded drive) e conectado ao sistema elétrico e ao sistema de governo da embarcação. O POD fica submerso e a principal vantagem do sistema é oferecer ao navio possibilidade de movimento para qualquer direção.

Ao girar 360° graus, o hélice pode direcionar a corrente de descarga para qualquer ponto do azimute da embarcação obtendo sempre um torque máximo, ou seja, proporcionando a mesma eficiência independente do sentido do movimento e também em baixas rotações, podendo atingir potências de até 30 MW.

Devido a essa conveniência o uso do hélice de passo controlável torna-se desnecessário, sendo utilizado então um hélice de passo fixo para cada arranjo, podendo haver normalmente até três arranjos por embarcação dependendo da necessidade.

Além de dispensar o uso do leme e de hélice laterais, eliminar longas linhas de eixo, ele produz um baixo nível de ruído e vibração e permite rápidas mudanças na direção beneficiando a manobrabilidade.

O sistema também foi benéfico para embarcações de pequeno porte, considerando seu tamanho reduzido que tornava possível uma melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga.

## **5.1 Composição elétrica do sistema Azipod®**

São empregados no sistema elétrico do navio vários grupos de geradores conectados ao quadro elétrico principal (QEP). A distribuição da energia aos utilizadores do navio, incluindo a propulsão AZIPOD®, é feita pelo QEP.

Ao empregar vários geradores, podendo ser MCPs ou turbo geradores, é permitido à embarcação efetuar as manutenções e até parar um gerador, mesmo em viagem, mantendo a embarcação operando normalmente. Se for utilizado um grupo de geradores a diesel, a quantidade de máquinas auxiliares será minimizada e, considerando que os motores empregados devem ser idênticos, reduzirá também o estoque de peças sobressalentes permitindo melhor aproveitamento do espaço.

Compõem o sistema, além das unidades de propulsão AZIPOD®, transformadores da propulsão, se necessário, sistema de controle e o sistema de energia com geradores e quadros elétricos. (Figura 7 - Anexo).

Os motores empregados neste sistema operam com RPM constante, garantindo uma reduzida emissão de óxidos de nitrogênio pelas máquinas de combustão Interna.

A interação entre propulsão e direção é otimizada permitindo que o sistema ofereça um maior dinamismo no controle de comando admitindo que a embarcação navegue de popa ou mesmo de lado além de reduzir a curva de giro.

## **5.2 Emprego do Azipod®**

A propulsão Azipod® será utilizada conforme a necessidade do navio e pode ser empregada das seguintes formas.

### **5.2.1 Propulsão simples**

Habitualmente utilizada em navios de grande porte pela pouca necessidade de manobra que esses possuem.

### **5.2.2 Propulsão Dupla**

Aplicado em embarcações que freqüentemente necessitam de uma boa capacidade de manobra para realizar operações e garantir a segurança. O uso dos dois pods simultaneamente permite maior eficiência na manobrabilidade e, caso um dos sistemas venha falhar a subitamente, o outro será capaz de suportar a execução da manobra sozinho. (Figura 8 - Anexo)

### **5.2.3 Propulsão CRP AZIPOD®**

O modelo Contra Rotating Propeller consiste em uma linha de eixo convencional conectada a um hélice, um POD é acoplado a ré desse hélice atuando como leme de contra rotação. (Figura 9 - Anexo)

O CRP foi desenvolvido no intuito de proporcionar ao navio maior eficiência e capacidade de manobra em altas velocidades.

### **5.2.4 Propulsão Compacta**

De fácil instalação e manutenção, a propulsão AZIPOD® compacta possui uma estrutura mais simples e foi adaptada para uso em pequenas embarcações com potência entre 0,5 e 5MW.

## **5.3 Sistemas do AZIPOD®**

Será descrito a seguir os diversos sistemas que compõem a estrutura da propulsão azipod. ® (Figura 10 - Anexo)

### **5.3.1 Sistema de resfriamento**

O resfriamento no sistema consiste em circulação fechada de ar através da unidade POD e do módulo de refrigeração de ar (Cooling Air Unit – CAU). O calor flui para o sistema de água de resfriamento do navio através dos trocadores de calor presentes na CAU.

### **5.3.2 Sistema de Governo**

Ao funcionar como um leme, a mudança de direção do azipod® é acionada pela unidade hidráulica de energia (Hydraulic Power Unit –HPU) admitindo redundância e garantindo a segurança das manobras.

O HPU fornece pressão hidráulica aos motores hidráulicos que então acionam os PODs através de pinhões em seus eixos.

O Quadro Elétrico Principal alimenta o sistema e se houver problemas com a geração de energia do navio, o Quadro Elétrico de Emergência irá garantir a continuação da operação.

### **5.3.3 Sistema de selagem**

Para proteger o propulsor, é instalado um sistema de selagem composto por selos em anel no eixo de giro e no eixo propulsor, selos de óleo e tanque de gravidade. Essa selagem, quando feita corretamente, garante a segurança evitando a entrada de água na unidade POD, o que provocaria uma baixa resistência no isolamento ou mesmo um curto circuito.

### **5.3.4 Sistema de lubrificação**

O óleo lubrificante circula por uma bomba e é distribuído para diversas partes através do sistema de canalização, permitindo uma segura operação dos mancais de sustentação e escora dos eixos (azimutal e propulsor) evitando a ocorrência de avarias. O sistema possui também uma unidade para resfriar ou aquecer este óleo utilizando os trocadores de calor.

### **5.3.5 Sistema de drenagem**

Se ocorrer vazamento, seja de óleo ou água, para dentro da unidade POD, o sistema de drenagem acionará alarmes e entrará em funcionamento automaticamente para manter a integridade do propulsor.

### **5.3.6 Sistema de freios e travas**

Em situações em que há a necessidade de manter a linha de eixo completamente imóvel, durante a manutenção, por exemplo, são acionados freios e travas que atuam nos eixos para evitar acidentes e avarias dos equipamentos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tornou possível a análise dos modernos sistemas de propulsão para navios mercantes e a conclusão de que este desenvolvimento está relacionado sempre com a busca de maior eficiência e menos gastos objetivando o lucro.

Ao implantar um sistema que forneça maior velocidade e potência ao navio, este estará reduzindo o tempo de navegação e operação e até aumentando a capacidade de carga, resultando somente em benefícios.

Destaca-se então a importância da qualificação dos oficiais que irão atuar nos novos navios para que possam operá-los com precisão evitando avarias e efetuando trabalhos que permitem o sistema proporcionar a máxima eficiência para a qual foi produzido.



## ANEXO

Figura 1 Turbina a gás

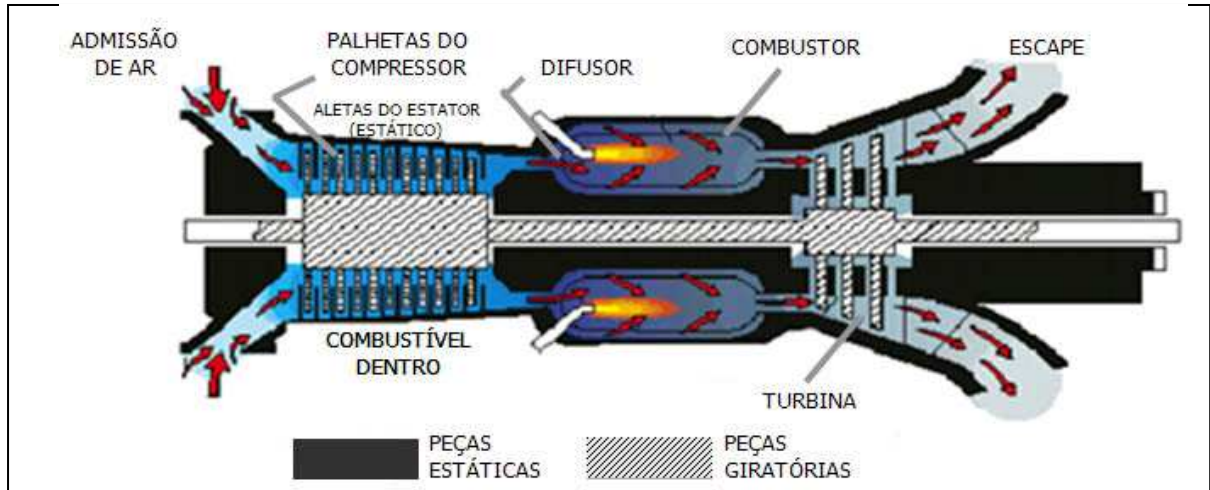


Figura 2 Ciclo de Brayton

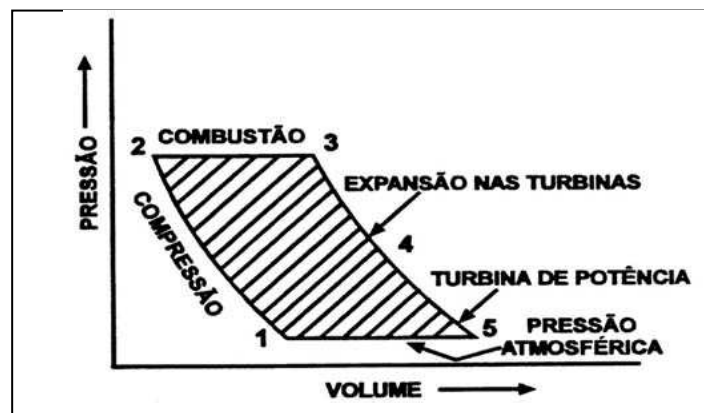


Figura 3 Hélice de passo controlável com detalhe interno



Figura 4 angulação da pá

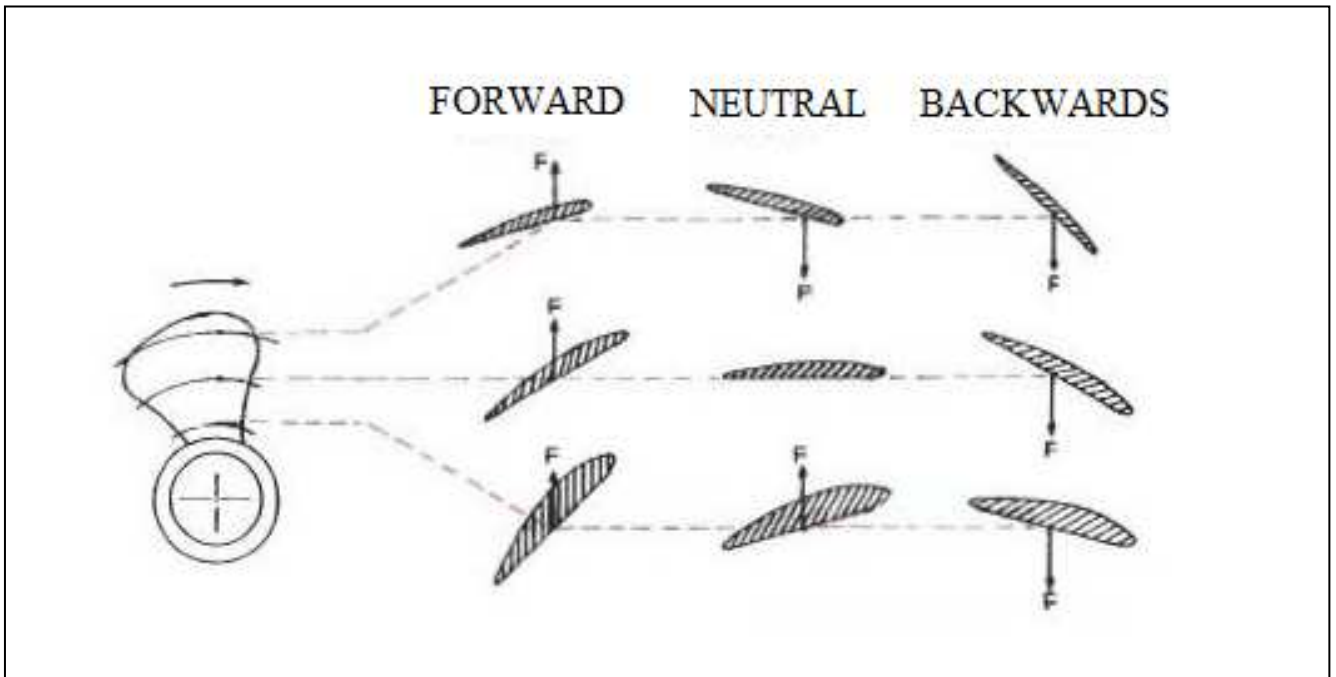


Figura 5 Operações no Voith Schneider

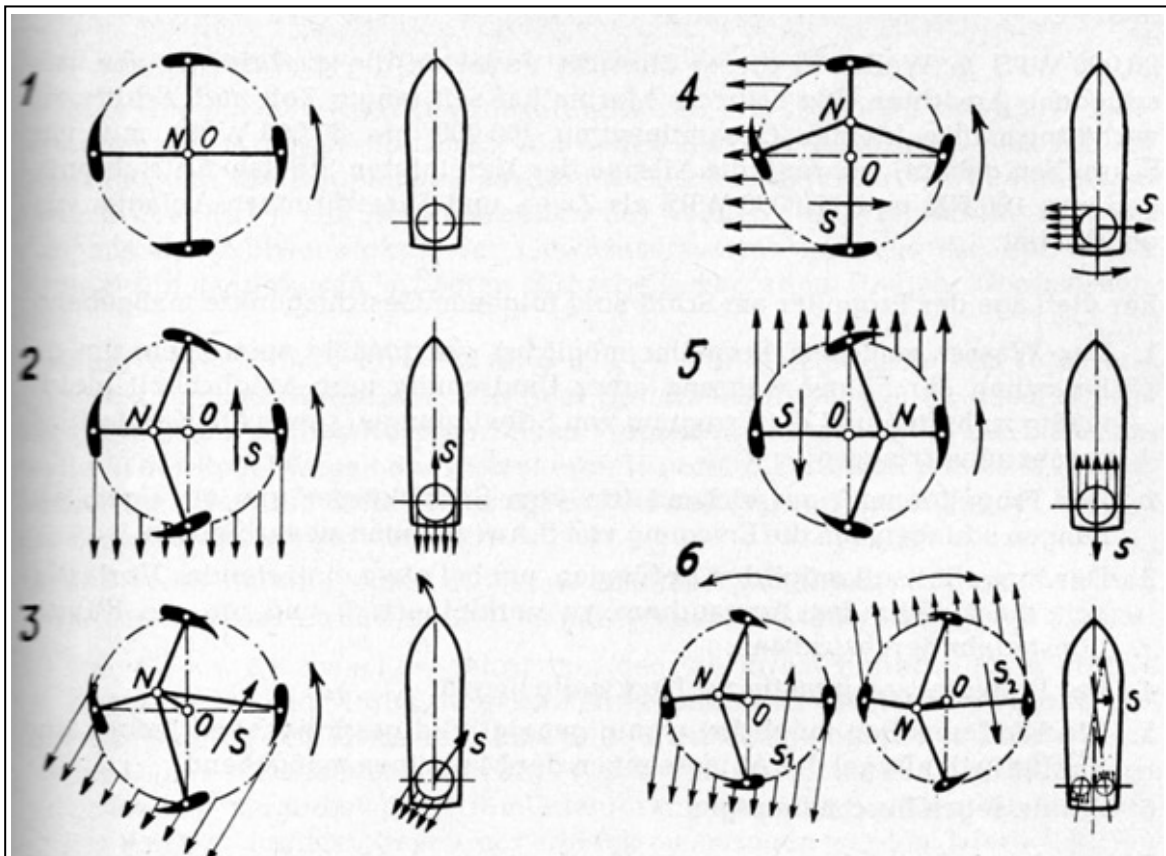


Figura 6 Skeg



Figura 7 Equipamentos do sistema Azipod®

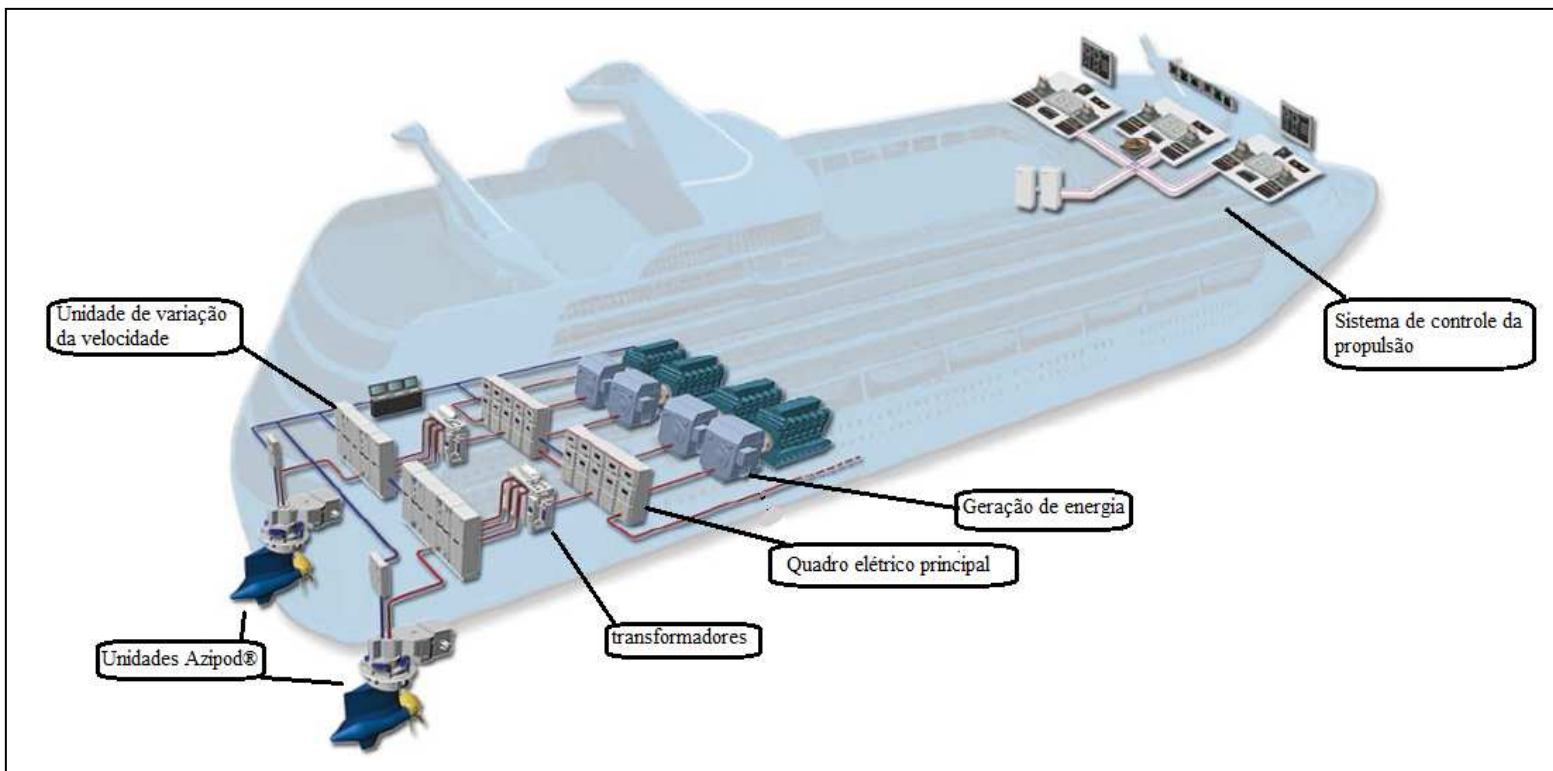


Figura 8 Propulsão Azipod® Dupla

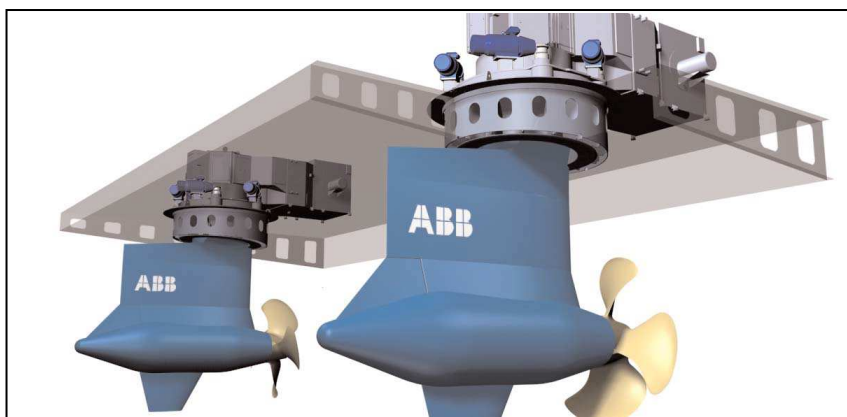
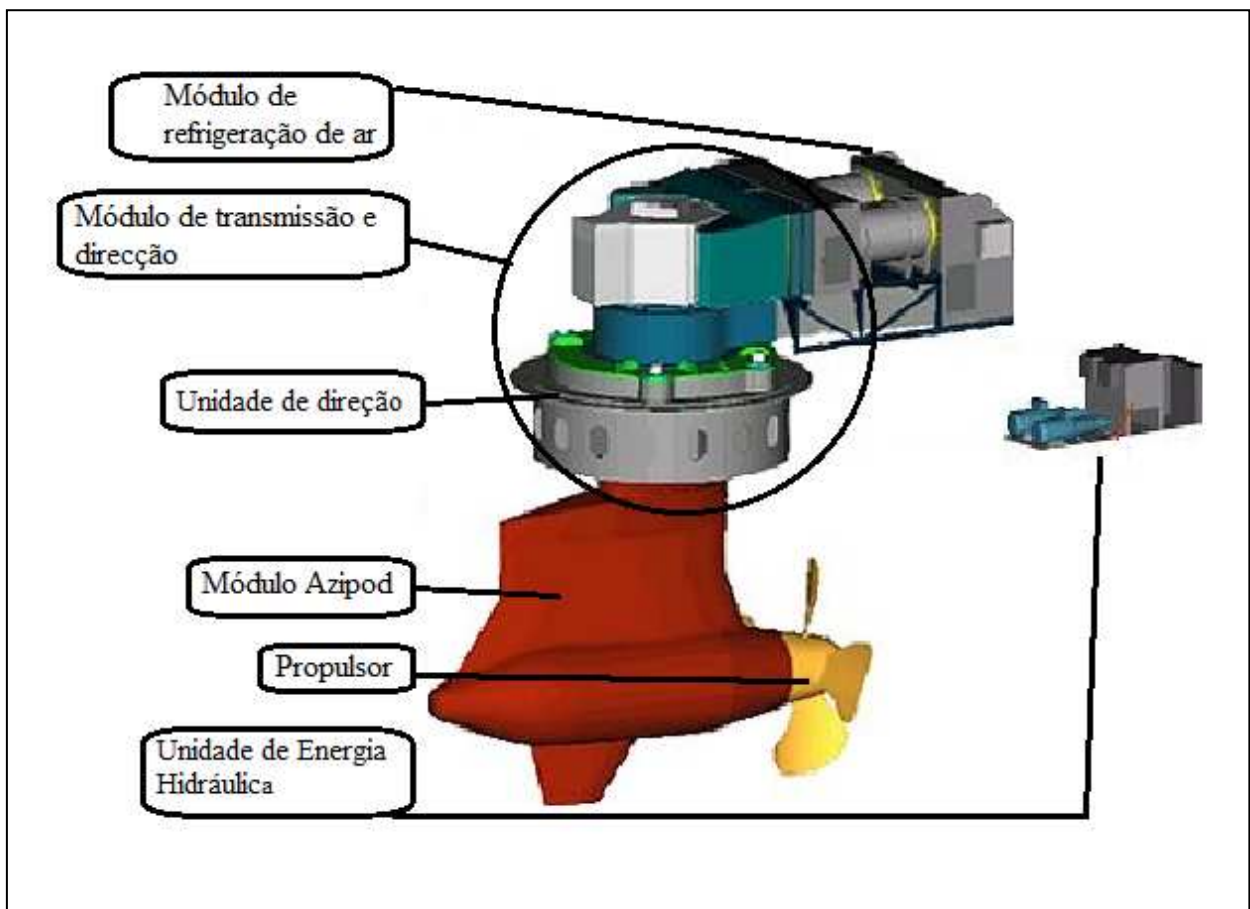




Figura 9 Propulsão CRP



Figura 10 Sistemas do Propulsor Azipod®



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- GOMES, Alexandre de Oliveira; GALINDO, Gabriel de Andrade. Máquinas e sistemas de propulsão. 1.ed., Rio de Janeiro: DPC, 2008.
- 2- SOUZA, Sâmara Pinto. Trabalho embarcações propulsao naval codog e cogog. Universidade Estadual da Zona Oeste: 2010.
- 3- JUNIOR, José Guilherme Nascimento Silva. Análise da eficiência do processo produtivo relativo à praça de máquinas de navios mercante. Rio de Janeiro, out. 2009.
- 4- Um estudo sobre instalações propulsoras para empurradores fluviais. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-12072007-191834/pt-br.php>> Acessado em: 21 jun. 2011.
- 5- Ship Movements Explained - Types and Means. Disponível em <<http://www.brighthub.com/engineering/marine/articles/54327.aspx>> Acessado em: 21 jun. 2011.
- 6- Marcelo. Sistema de propulsão cicloidial Voith Schneider. Maio, 2010. Disponível em <<http://pt.scribd.com/doc/60284959/Sistema-de-propulsao-cicloidial-Voith>> Acessado em: 23 jun. 2011.
- 7- Biblioteca Digital da Central de Cursos da Universidade Gama Filho - UGF <<http://posugf.com.br/biblioteca/index.php>> Acessado em: 27 jun. 2011.
- 8 – AZIPOD® - Disponível em <[www.abb.com.br](http://www.abb.com.br)> Acessado em: 12 jul. 2011.
- 9- SCHOTTEL PROPELLER – Disponível em <[http://www.schottel.nl/pdf\\_data/port\\_SCP.pdf](http://www.schottel.nl/pdf_data/port_SCP.pdf)>. Acesso em : 12 jul. 2011.

10-<http://www.rivieramm.com/publications/Marine-Propulsion-and-Auxiliary-Machinery-6>>

Acessado em: 15 jul. 2011.

11- VOITH SCHNEIDER – Disponível em:

<http://navalunivali.wordpress.com/2010/05/24/sistema-de-propulsao-cicloidal-voith-schneider/>> Acessado em: 18 jul. 2011.