

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

PAULO MÁRCIO PREZADO DOS SANTOS

PROPULSÃO ELÉTRICA

RIO DE JANEIRO

2014

PAULO MÁRCIO PREZADO DOS SANTOS

PROULSÃO ELÉTRICA

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

Orientador (a): 1OM Cláudio de Jesus

RIO DE JANEIRO

2014

PAULO MÁRCIO PREZADO

PROPULSÃO ELÉTRICA

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: 1OM Cláudio de Jesus

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico esta monografia ao meu Deus, que me deu a oportunidade de fazer o curso de, aperfeiçoamento para primeiro oficial de máquinas (APMA), e tem me sustentado até aqui. A minha esposa Carla e aos meus filhos, Alex, Paula e Vinícius, que me incentivaram em cada momento da minha jornada até onde puderam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que tornou tudo possível, e agradeço a minha esposa e filhos, Carla, Alex, Paula e Vinícius por me impulsionarem na realização deste curso.

Agradeço também ao meu orientador 1OM Cláudio de Jesus por todo conhecimento que me proporcionou.

Escolhe um trabalho de que gostes, e não terás
que trabalhar nem um dia na tua vida.
(CONFÚCIO)

RESUMO

O presente trabalho aborda os sistemas de propulsão elétrica de embarcações de modo geral e mostra a sua evolução desde os antigos submarinos, até o cenário atual caracterizado pelas modernas embarcações de apoio marítimo. Apresenta também, os seus arranjos básicos, as possibilidades e limitações de cada um, assim como razões para o desenvolvimento da propulsão elétrica. Todos os sistemas e seus respectivos componentes de uma instalação de propulsão elétrica mais comum nas embarcações de apoio marítimo também são demonstrados junto com suas vantagens e desvantagens.

Palavras-Chave: Propulsão Elétrica. Geradores. Motores Elétricos. Propulsão Mecânica. Economia de Combustível.

ABSTRACT

The present work approaches the systems of electric propulsion of embarkations in general and shows its evolution from the old submarines until the current scenery characterized by the modern embarkations of marine support. Also presents their basic arrangements, the possibilities and limitations of each one, as well as reasons for the development of the electric propulsion. All of the systems and their respective components of the most common electric propulsion installation in the embarkations of marine support are also demonstrated with their advantages and disadvantages.

Keywords: Electric Propulsion. Generators. Electric motors. Mechanical drives. Fuel Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Propulsor Elétrico	17
Figura 2 -	Propulsor Azipod	21
Figura 3 -	Funcionamento de uma Turbina a Gás	29
Figura 4 -	Turbina a gás	29
Figura 5 -	Propulsor HPV	34
Figura 6 -	Propulsor cicloidal	36
Figura 7 -	Skeg	37
Figura 8 -	Leme flanco	38
Figura 9 -	Tubulão-kort	39
Figura 10 -	Tubulão-kort e towmaster	39
Figura 11 -	Tubulão-kort móvel	40
Figura 12 -	Wing nozzle	41
Figura 13 -	Leme Becker	42
Figura 14 -	Leme Schilling	42
Figura 15 -	Leme ciloidal	43
Figura 16 -	Funcionamento de um sistema de propulsão nuclear	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	O uso da propulsão elétrica	12
2.1	Propulsão elétrica em corrente contínua	13
2.2	Propulsão elétrica em corrente alternada	14
2.3	Formas de partidas dos motores elétricos	16
2.3.1	Método de partida direta	16
2.3.2	Método de partida estrela-triângulo	16
2.3.3	Método de partida sof-starter	16
3	PROPULSÃO AZIPOD	18
3.1	Principais vantagens da propulsão AZIPOD	18
3.2	Sistema elétrico e aspectos ambientais	19
3.3	Sistemas do AZIPOD	20
<i>3.3.1</i>	<i>Sistema de resfriamento</i>	20
<i>3.3.2</i>	<i>Sistema de governo</i>	20
<i>3.3.3</i>	<i>Sistema de selagem</i>	20
<i>3.3.4</i>	<i>Sistema de lubrificação</i>	20
<i>3.3.5</i>	<i>Sistema de drenagem</i>	20
<i>3.3.6</i>	<i>Sistema de freios e travas</i>	21
4	TURBINA A GÁS	22
4.1	Turbina a gás	22
4.2	Princípio de funcionamento das turbinas a gás	23
4.3	Desempenho da turbina a gás	25
4.3.1	Temperatura de admissão de ar	25
4.3.2	Pressão atmosférica	25
4.3.3	Perdas de pressão na admissão e descarga	25
4.4	Sistemas auxiliares da turbina a gás	26
<i>4.4.1</i>	<i>Sistema de proteção</i>	26
<i>4.4.2</i>	<i>Sistema de ar</i>	26
<i>4.4.3</i>	<i>Sistema de partida</i>	27
<i>4.4.4</i>	<i>Sistema de óleo lubrificante e de comando hidráulico</i>	28
<i>4.4.5</i>	<i>Sistema de controle do fluxo de ar do compressor</i>	28

4.4.6	<i>Sistema de combustível</i>	28
4.4.7	<i>Casulo das turbomáquinas</i>	28
5	PROPULSORES DE PASSO VARIÁVEL	30
5.1	O uso do HPV	30
5.2	Hélices de passo variável com pás highly skewed	31
5.3	Vantagens da propulsão com HPV	31
5.3.1	<i>Redução no consumo de combustível</i>	31
5.3.2	<i>Redução na manutenção e consumo de óleo lubrificante</i>	32
5.3.3	<i>Redução de peso e combustível</i>	32
5.3.4	<i>Redução do comprimento da praça de máquinas</i>	32
5.3.5	<i>Vantagens operacionais</i>	32
5.4	Sistema de um HPV	33
5.5	Lacre mecânico do passo	33
6	VOITH SCHNEIDER	35
6.1	Sistemas Voith Schneider e Azimutal	36
7	LEMES E TUBULÕES	38
7.1	Leme flanco	38
7.2	Tubulão-Kort	38
7.2.1	<i>Tubulão-Kort e Towmaster</i>	39
7.2.2	<i>Tubulão-Kort móvel</i>	40
7.2.3	<i>Wing nozzle</i>	40
7.3	Leme Becker	41
7.4	Leme Schilling	42
7.5	Leme cicloidal (vcr)	43
8	PROPULSÃO NUCLEAR	44
8.1	Navios de força nuclear	44
8.2	Princípio de funcionamento da propulsão nuclear	44
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

A propulsão elétrica de embarcações nasceu no início do século XX acompanhando o desenvolvimento dos submarinos da época e esta busca pelo desenvolvimento se deu devido aos submarinos, quando mergulhados, não poderem 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 submarino convencional precisa operar os seus MCI para acionar geradores, na superfície ou próximo dela empregando o "snorquel" que fornecem energia para acionar o motor elétrico de propulsão (MEP) e para carregar as baterias do submarino, simultaneamente. Ao mergulhar, os geradores são parados e as baterias acionam o MEP assim como todos os equipamentos do submarino.

Devido à necessidade do mergulho a tecnologia de propulsão elétrica, criada um século antes, é uma solução para o submarino, e que também vem sendo muito usada em navios mercantes devido a vários fatores que irão ser abordados mais a fundo no decorrer do capítulo.

Este modelo de propulsão também foi motivado baseado na inconveniente característica da energia elétrica: a dificuldade de armazenamento de energia. Até hoje a pesquisa e o desenvolvimento da energia elétrica não encontrou substituto para armazenar energia elétrica que não seja a velha bateria, embora tenha melhorado o seu desempenho, adotando novas reações químicas e desenvolvendo materiais mais resistentes.

Os navios mercantes que utilizam motor elétrico como meio de propulsão também tem baterias, porém são poucas e dispostas em locais altos e ventilados, para melhor administrar o arejamento dos gases explosivos gerados no processo de carga. Se empregasse muitas baterias o navio mercante perderia muito espaço de carga e teria dificuldade para obter uma boa estabilidade devido ao peso muito alto.

A questão das baterias a bordo do navio mercante é mais bem entendida ao se analisar as Regras do Capítulo II-I, parte D, do texto consolidado da Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), 1974 e seu protocolo de 1978, incorporando todas as emendas de 1997. A Convenção SOLAS apenas exige que os mercantes tenham uma fonte de energia alternativa para emergências. Por isso, o uso de baterias a bordo dos navios mercantes é limitado aos sistemas temporários destinados a manter operando a automação, alarmes, comunicações internas, o GMDSS e a iluminação transitória (antiga emergência). Durante uma eventual falta de energia dos geradores de bordo, as baterias operam como um "no-break" para os sistemas de automação, dentre outros.

2 O USO DA PROPULSÃO ELÉTRICA

Após a segunda guerra mundial rebocadores de alto mar foram produzidos com um arranjo de propulsão similar aos de propulsão elétrica, porque tinha a vantagem de permitir variações suaves, pequenas e precisas na rotação do eixo propulsor, característica muito importante em fainas de reboque e salvamento.

Muitas embarcações de apoio marítimo, constantemente, precisam ser mantidas numa mesma posição relativa à plataforma durante muito tempo. Também se sabe que essa situação é arriscada e o seu controle é dos mais difíceis. O vento, o estado do mar, as diferentes áreas de superfície vélica das estruturas expostas ao vento, dentre outros fatores, tornam extremamente difícil manter duas embarcações sem qualquer movimento relativo entre elas.

Na década de 70 começaram a surgir soluções para auxiliar as embarcações de apoio marítimo no seu fim as junto às plataformas. Em meio a essas soluções veio o posicionamento dinâmico onde um processador digital recebe informações de uma referência, como o Sistema Global de Posicionamento ou outra referência na plataforma e ainda, informações da agulha giroscópica e do anemômetro da embarcação. O posicionamento dinâmico aciona as máquinas do navio para manter a embarcação em uma posição relativa à plataforma.

Outro importante problema além do recém citado é a dificuldade dos navios antigos, com um e com dois hélices na popa, terem uma imensa dificuldade para se deslocar lateralmente. Muitas destas embarcações passaram por momentos complicados, como "perder a atração" por não poderem se deslocar axialmente.

Os navios mercantes mais comuns usam rebocadores portuários para esse deslocamento lateral no momento da atração ou desatracação. Mas dependendo do local e tipo de faina onde é empregada a embarcação de apoio marítimo, a utilização de um rebocador para auxiliar a manobra é difícil e, com certeza, muito custosa.

Uma solução que vem sendo muito utilizada para os problemas acima citados é a utilização dos os hélices transversais, ou laterais, na proa e na popa ("bow thruster" e "stem thruster"), Algumas embarcações possuem vários desses hélices. Existem "thrusters" acionados por motores hidráulicos e por motores elétricos diretamente, entretanto a solução elétrica para os "thruster" na costa brasileira prepondera em virtude da maior rapidez de resposta e dimensões menores, embora em muitos casos precise empregar altas tensões elétricas.

Essa alta tensão elétrica normalmente ocorre na hora de uma reversão de marcha, durante manobra. Os motores de propulsão elétrica, corrente alternada, com motor de indução

tem altíssimas correntes de partida. A solução encontrada foi incorporar um hélice de pás e variáveis acionadas pelo motor elétrico de propulsão. O posicionamento dinâmico varia o passo do hélice além da rotação do motor elétrico.

Outro problema ligado a corrente alternada é que ela se opõe as variações de corrente da linha e/ou do barramento.

Seria possível minorar o problema da corrente alternada com a separação da planta elétrica, uma para cada eixo, mas mesmo assim, o paralelismo dos MCPs no barramento pode ser "derrubado" pelas flutuações de carga e / ou pelos harmônicos decorrentes.

Para dar uma solução a essas questões da corrente elétrica foi lançado no início do século XXI o sistema AZIPOD com energia gerada em CA, distribuída para todo o navio, inclusive para os MEPs. Mas, antes de chegar aos MEPs, ela é retificada para CC e, logo em seguida invertida para CA, com tensão e frequência adequada à tarefa da ocasião. O AZIPOD é capaz de girar 360° em torno do seu suporte vertical. Desse modo as embarcações dispensam a existência de muitas partes moveis para a transmissão, e leme, e ainda elimina a necessidade de "thruster" lateral a ré. Outras informações sobre o sistema AZIPOD serão apresentadas no capítulo seguinte.

2.1 Propulsão elétrica em corrente contínua

Ainda hoje existem embarcações que trabalham com propulsão e instalações em corrente contínua, devido à melhor capacidade de manobra por possibilitar uma variação suave da velocidade, especialmente na partida. Essa suavidade é fundamental para os rebocadores que em suas fainas evitam causar avarias no costado do navio que empurram, por evitarem o choque com muita força de encontro ao costado do navio apoiado.

Os rebocadores com propulsão convencional e MCP ligado diretamente ao conjunto eixo – hélice dá partida na sua propulsão com rotações equivalentes a cinco nós, aproximadamente, porque em rotações menores o MCP "morre". A solução é partir o MCP e pará-lo logo em seguida. Esse procedimento é limitado pela energia acumulada nas ampolas de ar para sucessivas partidas, número que pode variar no entorno de uma ou duas dúzias. Às vezes, embarcações precisam ficar dando voltas seguidas no mar, ou mesmo "boiando", aguardando o carregamento das suas ampolas de ar, após um número excessivo de partidas e paradas do MCP.

Os rebocadores com propulsão elétrica em corrente contínua tem os motores diesel sempre operando, acionando o gerador elétrico principal, mesmo com o navio atracado ou

fundeado. O acionamento dos hélices propulsores pelos motores elétricos principais pode ser feito lentamente, RPM por RPM, a partir do zero, ajustando o deslocamento do rebocador conforme as necessidades da faina, para evitar choques bruscos no cabo ou no dispositivo de reboque, para não rompê-lo.

A propulsão elétrica em corrente contínua possui uma grande desvantagem por possuir coletor (comutador) de teclas e escovas. O uso contínuo e as grandes variações de corrente em manobras, por exemplo, provocam um desgaste acelerado de ambos, ocasionando uma manutenção freqüente, cara e complexa.

Na medida em que o atrito escova - coletor provoca o desgaste da escova, as centelhas começam a surgir, desde uma pequena centelha até várias grandes. O processo é cumulativo, aumentando exponencialmente as centelhas e, conseqüentemente, o calor produzido. Se esse calor for exagerado, ele pode avariar o coletor do motor.

Os geradores elétricos de propulsão e os motores elétricos de propulsão em corrente contínua não podem ser enclausurados como os motores elétricos de corrente alternada do tipo gaiola de esquilo. O calor gerado pela comutação escovas - coletor, mais o calor dos campos da máquina, precisam ser dissipados, o que normalmente é feito por uma ventoinha. A circulação de ar introduz nos campos da máquina o pó produzido pelo atrito da escova de encontro ao coletor e até mesmo pequenos pedaços das escovas. Desse modo, além da umidade e poeira da praça de máquinas, o gerador e o motor elétrico de propulsão recebem uma grande quantidade de partículas de carbono e, ocasionalmente, algum corpo estranho. Por isso, essas máquinas são muito mais vulneráveis as baixas resistências de isolamento nos seus campos.

2.2 Propulsão elétrica em corrente alternada

A propulsão em corrente alternada tem um efeito indesejável, especialmente durante as variações de carga elétrica, que são os harmônicos de freqüência, dentre outros problemas. Do ponto de vista do consumo de energia, os harmônicos não trazem maiores problemas, mas, no caso dos sinais ou informações empregadas pela automação, os harmônicos são prejudiciais. Eles induzem sinais falsos nos sensores da automação, e esses por sua vez provocam reações incorretas da automação, do que resulta a instabilidade dos geradores elétricos de propulsão em paralelo no barramento.

Na propulsão elétrica a maior variação de carga ocorre, principalmente, nas variações de velocidade e sentido de rotação das máquinas durante as manobras do navio. É então que a instabilidade no paralelo dos geradores elétricos pode desligar toda a geração de energia do navio.

A solução elaborada para evitar esse excesso de corrente é a utilização de motores elétricos com sistemas azimutais. Esse tipo de propulsão é usado, majoritariamente, em navios incomuns, cuja operação é bastante irregular ao longo de um período de tempo, devido ao custo benefício ser menor quando comparado com o motor diesel, por exemplo.

O hélice lateral, que é movido por motor elétrico em corrente alternada, localizado na proa não é muito utilizado em navios comuns porque o equipamento é inútil em velocidades acima de quatro a seis nós e ainda fica parado por muitos dias ou semanas, sem uso, em local muito exposto a umidade. A validade do uso de "bow thruster" no navio comum vai depender, dentre outros motivos, da redução de custos obtida com a menor quantidade de rebocadores portuários e a frequência com que o navio manobra nos portos.

Quase sempre, a carga elétrica dos navios é maior do que a capacidade de um gerador. Faz-se preciso então ter vários geradores "em barra" e distribuir a carga elétrica total entre eles. A necessária distribuição da carga elétrica é feita pelo distribuidor de carga, que vem sendo enquadrado como controladores lógicos programáveis (CLP ou PLC).

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

Desse modo fica evidente que o distribuidor de carga é um elemento essencial a propulsão nos navios com propulsão elétrica e vários geradores. A energia disponível no barramento do navio para os motores elétricos é retificada e depois encaminhada para um inversor que entrega a energia elétrica aos motores elétricos em 440 volts CA, 60 Hz. Tudo isso num sistema trifásico em " "

A transmissão de energia para os motores elétricos acima descrita, aparentemente tortuosa, se destina a impedir o surgimento dos harmônicos de frequência no barramento do quadro elétrico principal, harmônicos esses induzidos pela variação de carga nos motores elétricos, especialmente durante as manobras da embarcação.

O navio com esses arranjos também ganha em flexibilidade e no gerenciamento de energia. A quantidade de MCPs (grupos geradores) em carga pode ser variada de acordo com

a condição da embarcação e com a velocidade, de modo a manter os motores em funcionamento sempre na faixa de melhor desempenho e ótimo consumo de combustível.

2.3 Formas de partidas dos motores elétricos

Existem três formas mais comuns de partida dos motores elétricos que são: sistema direto, estrela-triângulo e soft-starter. Os sistemas mais encontrados a bordo são os sistemas direto e estrela-triângulo. Logo abaixo é feita uma comparação entre os três sistemas de partida:

2.3.1 Método de partida direta

As vantagens do Método de partida direta são: Menor custo de todas; Muito simples de implementar e alto torque de partida. Já as desvantagens são: alta corrente de partida, provocando queda de tensão na rede de alimentação. Em função disto pode provocar interferência em equipamentos ligados na mesma instalação; Necessário sobredimensionar cabos e contadores; Limitação do número de manobras/hora.

2.3.2 Método de partida estrela-triângulo

As vantagens do Método de partida estrela-triângulo são: Custo reduzido; A corrente de partida é reduzida a $1/3$ quando comparada com a partida direta; Não existe limitação do número de manobras/hora. Já as desvantagens são: redução do torque de partida a aproximadamente $1/3$ do nominal; São necessários motores com seis bornes; Caso o motor não atinja pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo é equivalente ao da partida direta; Em casos de grande distância entre motor e chave de partida, o custo é levado devido à necessidade de seis cabos.

2.3.3 Método de partida sof-starter

As vantagens do Método de partida sof-starter são: Corrente de partida próxima a corrente nominal; Não existe limitação do número de manobras/hora; Longa vida útil, pois não possui partes eletromecânicas móveis; Torque de partida próximo do torque nominal;

Pode ser empregada também para desacelerar o motor. Já as desvantagens são: Maior custo na medida em que a potência do motor é reduzida.

Figura 1 - Propulsor elétrico



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

3 PROPULSÃO AZIPOD

No início da década de 1990 surgiu o sistema de propulsão elétrica no qual o motor elétrico de propulsão fica instalado dentro do POD (podded drive) e, portanto, dentro da água. Esse modelo de propulsão pode ser considerado de concepção revolucionária, se comparado com a propulsão convencional. Seu princípio é a substituição do hélice com eixo fixo, que produz uma força sempre na direção longitudinal, por um propulsor que pode mudar o sentido de sua corrente de descarga dirigindo sua força para qualquer ponto do azimute da embarcação.

A principal característica desse sistema está no fato de não precisar de leme para governar, pois o propulsor, com sua atuação de 360 graus, já faz esse papel. A interação entre propulsão e direção é tão boa que é comum observar essas embarcações navegando de popa ou mesmo de lado.

A primeira instalação azipod operou em 1990 visando atender, principalmente, a embarcações turísticas, no entanto vem sendo empregada em várias espécies de embarcações por trazer relevantes vantagens como excelente capacidade de manobra, com ótimo torque, em qualquer direção e permitir uma rápida mudança na direção do empuxo do propulsor.

Até o início do século XXI as unidades azipod tem sido instaladas em arranjos simples, duplos e triplos. O motor elétrico instalado no POD aciona diretamente um hélice propulsor de passo fixo e é capaz de proporcionar o torque total em todas as direções, e, do mesmo modo, nas baixas rotações. Também podem ser usados valores maiores do que o máximo projetado (mantido), por exemplo, em navios quebra gelos.

3.1 Principais vantagens da propulsão AZIPOD

O sistema de propulsão azipod combina as vantagens de vários sistemas de propulsão convencionais já existentes. Dentre elas, podemos destacar:

- a) Excelentes características de manobrabilidade e desempenho hidrodinâmico, mesmo em severos ambientes antárticos e offshore;
- b) Elimina a necessidade de longas linhas de eixo, bem como lemes, hélices laterais, hélices de passo variável e engrenagens redutoras;
- c) Possibilita projetos de cascos mais simples;
- d) Combinado com uma planta de energia elétrica, a propulsão azipod proporciona melhor distribuição e aproveitamento dos espaços de máquinas e carga, e, ainda, níveis reduzidos

de ruído e vibração, menor tempo de indisponibilidade, maior segurança e mais redundância;

- e) A flexibilidade de operação do sistema de propulsão azipod conduz a menor consumo de combustível, custos de manutenção menores, emissões de gases reduzidas, tudo com menor quantidade de máquinas;
- f) Como consequência da menor quantidade de máquinas, o sistema azipod tem menos cilindros de motor para manter;
- g) A unidade azipod tem um projeto flexível. Ela pode ser construída para empurrar ou puxar, em águas livres ou em águas com gelos. A unidade pode ser equipada com hélices fora de centro, com ou sem "nozzle" (tubulão);
- h) Devido a hidrodinâmica avançada, a unidade azipod possui excelente desempenho de campo de esteira (wake field).

3.2 Sistema elétrico e aspectos ambientais

Na propulsão azipod o sistema elétrico do navio emprega vários grupos geradores conectados ao quadro elétrico principal, igual a maioria dos navios. Esse quadro elétrico distribui energia aos utilizadores do navio, inclusive a propulsão azipod.

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

A propulsão azipod também tem a vantagem de um perfil com baixa emissão de gases. As máquinas de combustão interna emitem menos óxido de nitrogênio quando operadas em rotações constantes do que em velocidades variáveis. Como a propulsão azipod emprega máquinas que operam em rotação constante e na faixa de melhor desempenho, as descargas de gases para a atmosfera são reduzidas. Essa característica será muito importante em futuro próximo para as embarcações que operam em rotas costeiras, fluviais, amazônicas inclusive, e, especialmente nas proximidades de plataformas. Além disso, a propulsão elétrica é ideal para empregar novas fontes de energia como as "power cells" de hidrogênio.

3.3 Sistemas do AZIPOD

Dentre os principais sistemas do modelo AZIPOD de propulsão, podemos destacar:

3.3.1 *Sistema de resfriamento*

O sistema usado no resfriamento do Azipod consiste em circulação fechada de ar através da unidade Azipod e da unidade de resfriamento de ar. Essa unidade de resfriamento é equipada com trocadores de calor entre o ar e água, através dos quais o calor flui para o sistema de água de resfriamento da embarcação.

3.3.2 *Sistema de governo*

O sistema azipod proporciona o governo do navio dentro do preconizado nas Regras da Convenção SOLAS, tanto em condições normais de operação quanta em emergência. Além disso, permite excelente capacidade de manobra ao navio e redundância do sistema de governo. O acionamento do azipod, como um leme, é feito por uma máquina acionada hidráulicamente.

3.3.3 *Sistema de selagem*

O sistema de selagem do azipod é composto por selos em anel no eixo de giro em azimute e no eixo propulsor para selar os alojamentos dos mancais de escora e mancal do propulsor. O sistema ainda compreende selos de óleo e tanque de gravidade.

3.3.4 *Sistema de lubrificação*

O sistema de lubrificação do azipod permite a operação dos mancais dos eixos azimutal e propulsor (sustentação e escora), sem falhas e avarias.

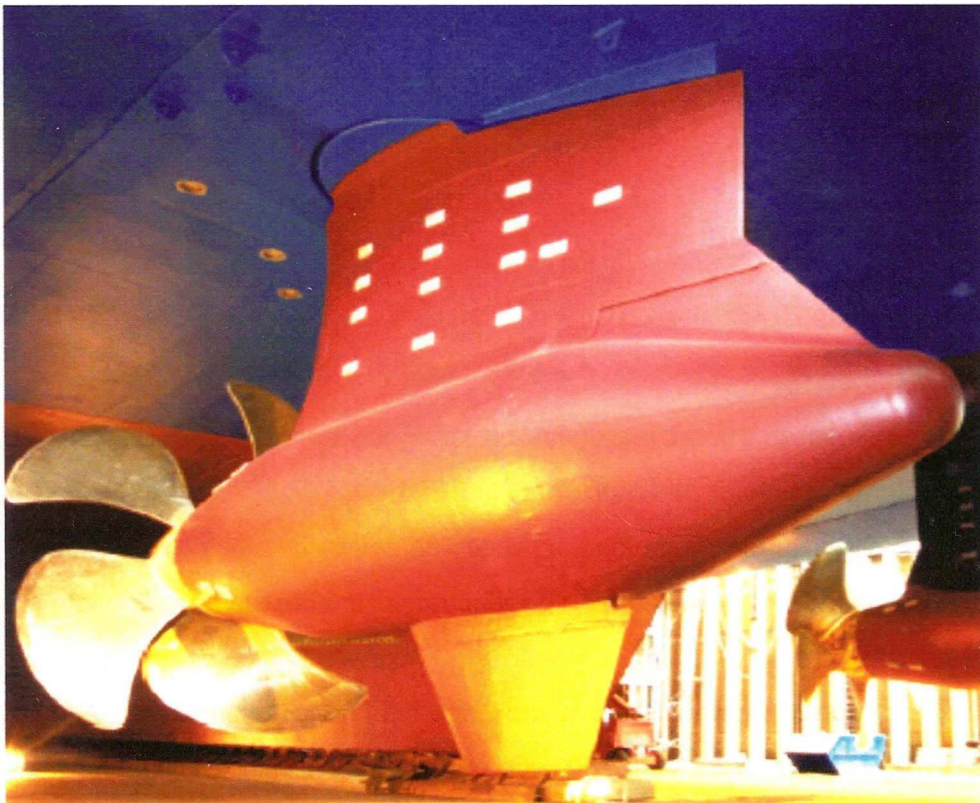
3.3.5 *Sistema de drenagem*

A unidade Azipod inclui um sistema de drenagem para o caso de vazamentos de óleo ou água para dentro do POD. O sistema de drenagem opera automaticamente e aciona alarmes no sistema.

3.3.6 Sistema de freios e travas

A propulsão Azipod é equipada com freios e travas (opcionais) tanto para a rotação do eixo propulsor como para a rotação azimutal (governo). Ele é equipado com um freio a disco hidráulicamente atuado para evitar movimentos durante trabalhos de manutenção, ou em qualquer outra situação em que a linha de eixo precise ser mantida estática.

Figura 2 - Propulsor AZIPOD



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

4 TURBINA A GÁS

Por volta de 1500, Leonardo da Vinci desenhou o primeiro esquema de um aparelho que rodava pelo efeito de vapor. Em 1629 outro italiano, Giovanni Branca atualizou e desenvolveu um projeto que usava jatos de vapor para acionar uma turbina que, por sua vez, operava uma maquinária. Esta foi a primeira aplicação prática de uma turbina a vapor.

Durante a primeira guerra mundial começou-se a usar os gases de escape de um motor recíproco para arrastar a roda de uma turbina que, por sua vez fazia rodar um compressor centrífugo para aumentar a compressão. O processo de evolução do turbosupercompressor tomou possível a construção dos primeiros motores de turbina a gás.

Em 1872 um homem conhecido por Stolze desenhou a primeira verdadeira turbina a gás. O motor incorporava uma secção de turbinas com vários estágios assim como um compressor axial também de vários estágios. Este modelo foi testado a trabalhar nos princípios de 1900.

O nome mais adequado para esse tipo de propulsor é "motor de combustão interna". Porém, os norte-americanos popularizaram o termo "turbina a gás" (*gas turbine*). A propulsão através da turbina a gás nada mais é que a adoção de um motor a jato acoplado num eixo naval, girando um hélice. Os britânicos lançaram a primeira embarcação do mundo movida por essa nova propulsão em 1953, o *HMS Grey Goose*. Na década seguinte já se projetavam navios de grande porte exclusivamente movidos por turbina a gás.

Apesar da turbina a gás ser uns dos mais modernos sistemas de propulsão no mercado, não vem sendo muito utilizada nas atividades de marinha mercante, de um modo geral, por gerar um alto custo relacionado a combustíveis quando comparada com o tradicional motor a diesel, por exemplo. Este modelo de propulsão é encontrado, majoritariamente, nas embarcações que disputam pontos estratégicos de mercado com aeronaves, devido a sua alta aceleração e velocidade.

4.1 Turbina a gás

Com algumas exceções, quase todas as turbinas a gás utilizadas em navios são "marinizadas" a partir de motores aeronáuticos (aeroderivadas) para atender requisitos específicos. Por isso algumas alterações são efetuadas. Uma delas é a mudança da câmara de combustão. Por utilizar óleo diesel ao invés de querosene de aviação as câmaras de combustão das turbinas navais apresentam um projeto diferenciado. Em outros casos o material das

palhetas do compressor é diferente (feitas de aço nos motores navais e de alumínio nos aviões) e a introdução de um compressor de baixa pressão é necessária.

A utilização de turbinas a gás também implica numa outra mudança. Como elas não podem ser revertidas, os navios equipados somente com esse tipo de propulsão devem possuir câmbio de reversão ou hélice de passo variável.

Dentre as características principais de desempenho desse tipo de propulsão destacam-se a boa relação peso/potência. Por essa razão, as turbinas a gás atendem tanto a embarcações pequenas quanto as de grande porte. A grande aceleração inicial também é um atrativo para esse tipo de propulsão, pois com a turbina a vapor era necessário esperar que a pressão das caldeiras atingisse um nível mínimo desejado. Porém, este ótimo desempenho tem um custo. O consumo específico de combustível é relativamente alto. Por este motivo algumas marinhas decidiram adotar turbinas a gás somente para velocidades altas (acima de 18 nós) como já citado, utilizando outro tipo de propulsor (motores diesel, por exemplo) para velocidades baixas.

A introdução das turbinas a gás permitiu uma redução do espaço ocupado quando comparadas com as instalações das praças de máquinas das turbinas a vapor e suas caldeiras. Houve também uma economia em peso. De certa forma, isto trouxe problemas de estabilidade para os projetistas navais da época em que foram introduzidas, pois as pesadas instalações antigas garantiam o equilíbrio dos navios, principalmente quando as grandes antenas de radar traziam peso cada vez maior para as partes mais altas.

4.2 Princípio de funcionamento das turbinas a gás

A turbina a gás é essencialmente uma máquina térmica que utiliza o ar como fluido motriz para prover energia. Esta é produzida a partir do resultado das seguintes etapas:

- a) Admissão – o ar atmosférico é admitido passando por uma seção de filtragem normalmente de três estágios;
- b) Compressão – o ar é comprimido em um compressor dinâmico (axial ou centrífugo), normalmente do tipo axial de vários estágios onde a energia térmica do fluido (ar) é aumentada.

O compressor de ar é o componente da turbina responsável pelo aumento da pressão do ar e é acionado pela turbina do gerador de gás.

Normalmente, os compressores axiais são mais empregados por serem especificados para maiores vazões do que os centrífugos.

O princípio de funcionamento do compressor axial é o da aceleração do ar com posterior transformação em pressão. É composto por uma seção estacionária, onde se encontram instalados 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 rotor com palhetas é responsável pela aceleração do ar, como um ventilador. É nesta etapa que o ar recebe trabalho para aumentar a energia cinética. O anel de palhetas estatoras tem a finalidade de direcionar o ar para incidir com um ângulo favorável sobre as palhetas e promover a desaceleração do fluxo de ar para ocorrer a transformação da energia cinética em energia térmica (efeito difusor).

Combustão – Na câmara de combustão, 25% do ar comprimido e o combustível injetado a alta pressão promovem a mistura e queima a uma pressão praticamente constante. As câmaras de combustão das turbinas aeroderivadas podem ser do tipo anular ou tuboanular. A ignição da mistura ar e combustível ocorre durante a partida, através de um ignitor e uma tocha, quando aplicável. Posteriormente a combustão se auto sustenta.

Os gases gerados na combustão a alta temperatura são expandidos a uma alta velocidade através dos estágios da turbina geradora de gás que consiste de um conjunto rotor (eixo com rodas de palhetas) e as rodas estatoras com palhetas que promovem o efeito bocal e direcionam o fluido motriz (gases) para proporcionar um melhor ângulo de ataque nas palhetas das rodas da turbina, convertendo a energia dos gases em potência no eixo para acionar o compressor axial de ar e a turbina de potência.

Exaustão – Os gases remanescentes da expansão na turbina passam através de um bocal para aumentar sua velocidade e conseqüentemente o impulso (propulsão) sendo direcionados para uma turbina de reação ou turbina de potência com um ou mais estágios (estator e rotor), onde a energia disponível dos gases é convertida em potência no eixo. Finalmente os gases fluem para o duto de exaustão, onde sua energia remanescente pode opcionalmente ser aproveitada em um sistema de recuperação de calor (aquecimento de água). É importante lembrar que não existe conexão mecânica entre o eixo do conjunto gerador de gás e o eixo da turbina de potência.

Este princípio de funcionamento das turbinas a gás possui variantes tais como: regenerador (recapta uma parte da energia dos gases de escape para pré-aquecer o ar a entrada da câmara de combustão); refrigerador (arrefece o ar nos estágios da compressão o que permite a utilização de mais combustível e conseqüentemente gerando mais potência); e

um sistema de recombustão (aproveita os gases de escape não queimados, reconvertendo-os e queimando-os numa segunda câmara).

Fazendo-se uma comparação entre os ciclos de funcionamento de uma turbina (ciclo Brayton) e de um motor convencional de quatro tempos (ciclo Otto), em uma turbina a combustão ocorre a uma pressão constante, ao passo que em um motor convencional a combustão ocorre a um volume constante. Em ambos os ciclos ocorrem as etapas de admissão, compressão, combustão e exaustão. 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 continuamente em locais diferentes.

4.3 Desempenho da turbina a gás

Existem três parâmetros básicos que afetam o desempenho de uma turbina a gás.

4.3.1 Temperatura de admissão de ar

A temperatura de admissão de ar está diretamente ligada à potência de saída e ao consumo específico de combustível em milhares de Btus por hp-hora (Kbtu / hp-h).

4.3.2 Pressão atmosférica

Perda de pressão (contra pressão) na admissão de ar e no duto de exaustão de gases tem um grande efeito no desempenho da turbina e, se não for mantida nas condições mínimas, pode resultar em uma redução considerável da potência de saída.

4.3.3 Perdas de pressão na admissão e descarga

Perda de pressão na admissão do ar e no duto de exaustão de gases tem um efeito grande no desempenho da turbina e, se não for mantida nas condições mínimas, pode resultar em uma redução considerável da potência de saída.

4.4 Sistemas auxiliares da turbina a gás

Os seguintes sistemas auxiliam na operação da turbina a gás.

4.4.1 Sistema de proteção

Sensores de vibração e temperatura dos mancais: Nos mancais que apóiam o eixo do conjunto gerador de gás e o eixo da turbina de potência são feitas monitorações de vibração radial através de sensores por deslocamento, aceleração e sensores de deslocamento axial. A monitoração de temperatura é feita utilizando sensores tipo termorresistência.

Sensores de temperatura dos gases gerados: constitui de termopares normalmente instalados entre a exaustã e a admissão da turbina. Essa monitoração é de extrema importância para a vida útil da turbina, sendo um item de limitação na operação.

Sensores de velocidade: Utilizando sensores magnéticos montados sobre engrenagens instaladas nos eixos geradores de gás e eixos da turbina de potência, as monitorações das velocidades dos eixos são itens de limitação na operação da turbina. No eixo da turbina de potência, além dos sensores normalmente instalados, são utilizados também sensores reservas de emergência de sobrevelocidade (*backup overspeed*), pois a turbina de potência é uma turbina livre, aumentando portanto as necessidades de monitoração de sobrevelocidade.

4.4.2 Sistema de ar

O sistema de ar das turbinas se divide em cinco subsistemas:

- a) **Sistema de filtragem de ar de admissão para o gerador de gás:** Considerando que o ar succionado é utilizado no ciclo de funcionamento da turbina a gás com vários propósitos, a vida útil bem como o desempenho da turbina, depende necessariamente da eficiência do sistema de filtragem. Nesses sistemas são instalados indicadores, transmissores e sensores de pressão para monitoração e proteção através de sinal de alarme ou sinal de parada.
- b) **Sistema de ar de combustão:** o ar admitido, depois de filtrado, é comprimido e passa por um difusor de descarga, alcançando a câmara de combustão onde ocorrerá a mistura ar e gás combustível que será queimada. A quantidade de ar utilizada na combustão é também denominada de ar primário.
- c) **Sistema de ar de referência para controle:** Uma tomada de ar proveniente da descarga do compressor de ar é direcionada para ser utilizada como referência no sistema de controle

de combustível e/ou sistema de controle do fluxo de ar do compressor axial (Atuadores das válvulas de sangria).

- d) **Sistema de ar de resfriamento:** Considera-se que aproximadamente 75% do ar admitido e comprimido é utilizado como resfriamento (ar secundário) da parede interna da câmara de combustão onde grande parte dessa massa de ar recebe energia da combustão e se transforma em gases a alta temperatura (fluido motriz) que se expandem através das turbinas, transformando a energia térmica em energia mecânica. Através de tomadas de ar internas e externas, parcelas de ar são direcionadas para resfriar as palhetas estatoras dos primeiros estágios do gerador de gás e as faces dos discos das rodas das turbinas.
- e) **Sistema de ar de selagem dos mancais:** Através de tomadas de ar internas e externas proveniente da descarga do compressor de ar, parcelas de ar são direcionadas para pressurização dos selos de labirinto dos mancais para evitar a fuga de óleo lubrificante dos mancais para as seções internas de compressão, combustão e turbinas, evitando assim formação de pontos quentes causados pela queima desse óleo e conseqüentemente sérios danos as partes internas da turbina.

4.4.3 *Sistema de partida*

Os sistemas de partida têm a finalidade de retirar o conjunto gerador de gás da inércia, proporcionando um fluxo de ar para o gerador de gás, turbina de potência, duto de exaustão e recuperador de calor quando utilizado. Quando o ciclo começa a sair da inércia é iniciada a ignição, seguida da combustão, aonde, com a sustentação da rotação pelo motor de partida e com incremento de combustível, o torque no eixo do motor vai reduzindo e a velocidade aumentando. Assim segue até o ponto em que o ciclo de funcionamento gere energia suficiente para se auto-sustentar. Nesse ponto o sistema de partida é desacoplado e o motor de partida é desligado. Os sistemas de partida utilizados podem ser dos seguintes tipos: pneumático, elétrico, hidráulico e eletrohidráulico.

Em todos os sistemas citados, o acoplamento entre o sistema de partida e o eixo do conjunto gerador de gás é feito através de um conjunto mecânico com catracas denominado embreagem livre, cujo acoplamento e desacoplamento é feito automaticamente através de força centrífuga.

4.4.4 Sistema de óleo lubrificante e de comando hidráulico

Os sistemas de óleo lubrificante têm a finalidade de suprir óleo sintético a uma determinada temperatura, pressão e vazão para resfriar e lubrificar os diversos mancais e engrenagens existentes na turbina durante partida (pré-lubrificação), operação e parada (pós-lubrificação). Em algumas turbinas, tem também a finalidade de suprir óleo de comando hidráulico para o atuador das válvulas de sangria, atuador das palhetas variáveis guias de entrada e atuador da válvula dosadora de combustível.

4.4.5 Sistema de controle do fluxo de ar do compressor

Esse sistema de controle tem a finalidade de ajustar a vazão de ar do compressor da turbina de acordo com sua condição operacional, com o propósito de controlar o fluxo de ar na admissão do compressor, mantendo ajustada a sua curva de desempenho com a curva do sistema (oferta de ar).

O compressor é projetado para operar com alta eficiência em altas rotações, que é a situação normal de operação. Nas condições de baixas rotações a faixa operacional estável é muito estreita, podendo sair dessa faixa e entrar na zona de instabilidade operacional onde ocorrem efeitos danosos ao compressor. Nos compressores axiais essa instabilidade operacional é evitada através da utilização de uma ou mais válvulas de sangria que proporcionam a sangria de ar de alguns estágios ou da descarga do compressor para o duto de exaustão da turbina.

4.4.6 Sistema de combustível

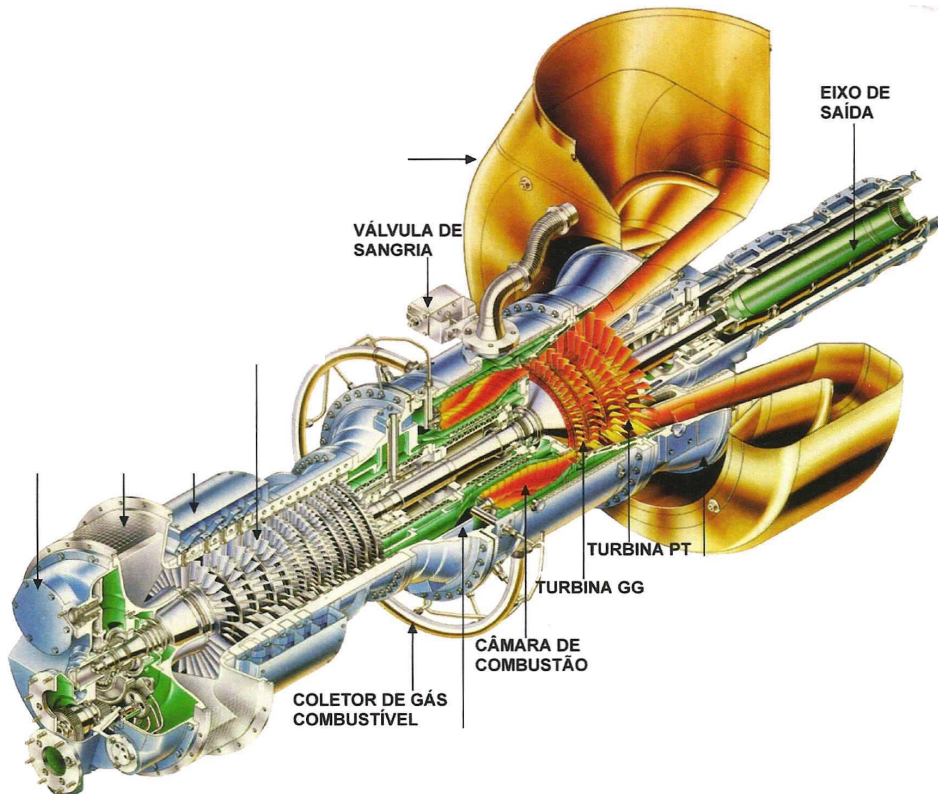
O sistema combustível da turbina tem a finalidade de suprir diesel ou gás, limpo a determinada pressão, temperatura e vazão através do coletor de distribuição de combustível com os bicos injetores para a câmara de combustão. O sistema dosa automaticamente o combustível durante a partida, aceleração, operação normal, desaceleração e comutação.

4.4.7 Casulo das turbomáquinas

O casulo possui capacidade de isolamento térmico e acústico, além de portas de acesso e pontes rolantes para movimentação da turbina, compressores e geradores durante

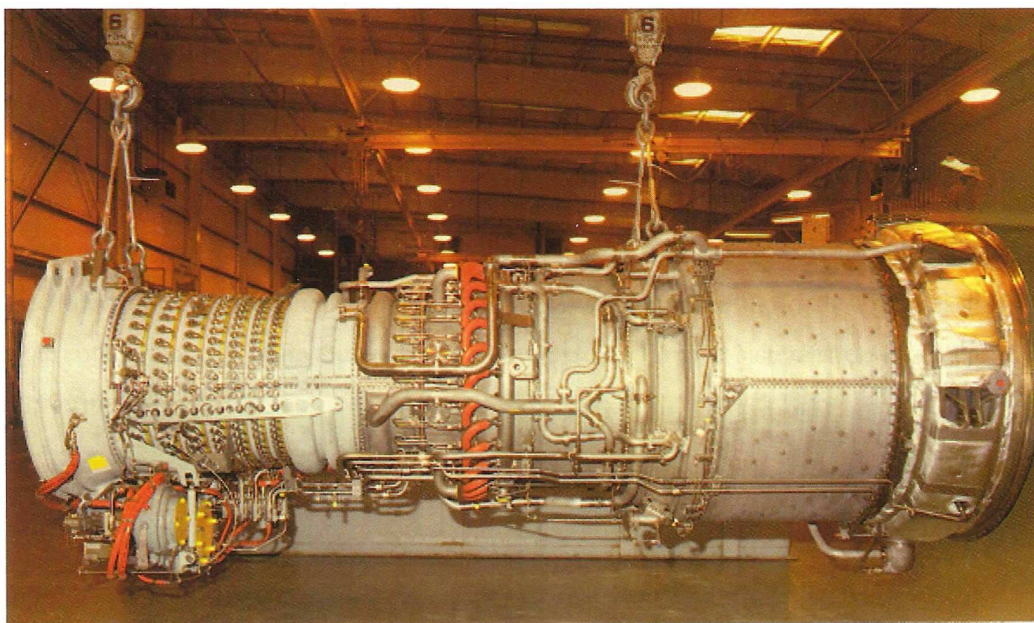
manutenções. É pressurizado para manter a turbomaquina isolada da atmosfera externa, prevenindo o meio interno de contaminação.

Figura 3 - Funcionamento de uma turbina a gás



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

Figura 4 - Turbina a gás



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

5 PROPULSORES DE PASSO VARIÁVEL

O desejo de ter um navio com hélice de passo variável (hvp) é muito antigo, mas que só foi conseguido na década de 30 o aproveitamento da experiência obtida em projetos e fabricação de turbinas hidráulicas.

Com o decorrer dos anos, a preocupação pela melhoria do sistema de hvp aumentou muito. O principal motivo desta preocupação está ligado ao aspecto econômico.

Na década de 50 foram construídas várias fábricas específicas de produção de hélices de passo controlável. Com isso, tal sistema foi se aperfeiçoando com o aumento das potências dos motores, o aumento do diâmetro dos hélices e a necessidade da diminuição do consumo específico de óleo combustível.

O hélice de passo variável foi concebido por diversos programas de computador que desenvolveram cálculos de desempenho e melhoria da eficiência propulsiva. Sua idéia básica de funcionamento nada mais é do que a variação de ataque das pás do hélice.

Hoje em dia centenas de navios, independente de tipo e tamanho, usam hvp em todo o mundo. Esse sistema vem crescendo por fornecer uma eficiente e exata manobrabilidade, dando uma tranquilidade maior em lugares de grande concentração de embarcações, sem contar com a redução de manutenção de compressores de ar e sistemas de ar de partida do motor principal.

Outra relevante vantagem do hvp é a facilidade na troca de uma pá, em caso de avaria, sem a necessidade da desmontagem completa do hélice.

Atualmente foram desenvolvidos métodos mais eficientes para minimizar a vibração induzida no casco, utilizando pás com certo grau de assimetria (skew) e grande avanço na parte de automatização do sistema de hvp.

5.1 O uso do HPV

Uma grande vantagem do hvp quando comparado com o hélice de passo fixo é que ele pode se adaptar às condições de operação que influenciam a curva de carga do motor, tais como: resistência do casco (que varia de acordo com a velocidade da embarcação), condições meteorológicas, profundidade, calado, condições de carga, de mar, alteração de combustível, aumento da sujeira e rugosidade no casco e nas pás do hélice, etc. Como consequência desta adaptação o hvp proporciona:

a) Aumento na vida do motor,

- b) Diminuição nos custos de manutenção do motor,
- c) Pequeno período de retomo do custo aplicado na escolha de um hpv,
- d) Maior manobrabilidade,
- e) Diminuição de ruídos,
- f) Suavidade na operação.

5.2 Hélices de passo variável com pás highly skewed

O método mais eficiente para reduzir ruídos e a vibração induzida ao casco, sem diminuir as eficiências de manobra e propulsiva, quando comparado com o hélice de pás normais, é o de se projetar um hpv com pás highly skewed. São pás que tem certo grau de assimetria. Possuem, na região da metade das pás, certa puxada para vante, formando uma barriga, enquanto nas pontas tem uma acentuada curvatura voltada para ré.

O baixo nível de vibração, acompanhado do baixo nível de ruído provocam uma melhoria no conforto das partes habitáveis do navio. Desse modo, hoje, o hélice highly skewed (h.s.), pode ser considerado como sendo padrão em todo tipo de navio de passageiros, ferry, transatlântico, bem como em navios mercantes.

A possibilidade de se utilizar pás h.s. implica no aumento do diâmetro máximo do hélice, em geral, 10% em comparação com o diâmetro de um hélice de passo fixo ($hp_{\pm}$), com pás sem assimetria ou com assimetria moderada. Com isso se verifica que a rotação do propulsor pode ser inferior, garantindo um ganho na eficiência propulsiva de 3 a 5% e uma redução na potência instalada, além de outras vantagens operacionais.

Normalmente, os motores fabricados adequadamente aos hpv com h.s. possuem um diâmetro do cilindro e/ou curso maior, e um ou dois cilindros a menos, quando comparado com os hpf.

5.3 Vantagens da propulsão com HPV

Dentre as principais vantagens da propulsão com hélice de passo variável podemos destacar:

5.3.1 *Redução no consumo de combustível*

O hpv com pás h.s. propicia uma economia de combustível da ordem de 4 a 6%.

5.3.2 Redução na manutenção e consumo de óleo lubrificante

Com um menor número de cilindros consome-se menos óleo lubrificante. Redução esta na faixa de 5 a 10%.

A manutenção do mcp é diminuída em função do baixo nível de vibração, rotação unidirecional, funcionamento sem sobrecarga e diminuição no número de cilindros. Importante salientar que a manutenção do mcp toma-se mais cara ao utilizar o hpv, além de encurtar a vida útil do mesmo.

5.3.3 Redução de peso e combustível

Em função da redução da potência e número de cilindros, o mcp é cerca de 5% mais leve do que quando usado um hpv.

Do mesmo modo, o volume de óleo combustível pode ser reduzido em cerca de 5%. Essas duas reduções juntas, mais do que compensam o aumento de peso do hpv se comparado com hpv. Essa redução no peso de maquinária, mais a diminuição no peso de óleo combustível transportado, podem naturalmente ser utilizadas no aumento da capacidade de carga transportada.

5.3.4 Redução do comprimento da praça de máquinas

Quando usado um hpv, o comprimento do mcp é diminuído, proporcionando uma equivalente redução no comprimento da praça de máquinas. Essa diminuição pode ser utilizada para aumentar o comprimento do porão de carga, por exemplo.

5.3.5 Vantagens operacionais

Uma das vantagens do hpv é a habilidade de enfrentar as várias condições operacionais somente com a variação do passo do hélice. Através de uma variação continua do passo e do correto set point, o hélice permite uma grande eficiência operacional do mcp em carga total ou parcial, isto é, fator importante para embarcações que requerem manobras árduas e principalmente aquelas que se encontram em lugares onde o tráfego marítimo é intenso, como navios mercantes, pesqueiros e quebra gelos.

Normalmente os hélices de passo variável operam sempre em um mesmo sentido e com rotação constante. Isto permite a instalação de um gerador de eixo, proporcionando um baixo custo no consumo da carga elétrica, com isso, o consumo específico de óleo combustível diminui, aumentando a economia em virtude dos motores auxiliares estarem parados e não consumirem óleo diesel.

Sempre que a velocidade máxima não é requerida, um modo de operação pode ser selecionado, o qual assegurará a melhor eficiência de todo o sistema propulsivo.

O hélice de passo variável funciona junto com o mcp, porém quando se necessita fazer uma manobra (máquinas à ré, por exemplo) não é preciso parar nem inverter o sentido do mcp, apenas ajusta-se o passo do hélice na posição adequada através de um sistema de controle. Sistema este aprovado e de completa confiabilidade.

5.4 Sistema de um HPV

O controle de passo do hélice pode ser suprido pelos sistemas pneumático, elétrico, eletrônico e hidráulico. Geralmente esse controle é feito através do mecanismo hidráulico.

O mcp com hpv pode ser controlado do passadiço ou da sala de controle, por um sistema de controle remoto automático, o qual é adaptável para todos os tipos de hpv e motores.

5.5 Lacre mecânico do passo

Em uma eventual falha do sistema hidráulico ou do controle remoto dos transmissores de comando que se encontram no passadiço e na praça de máquinas, o passo do hélice pode ser mecanicamente travado na posição de passo avante, através da montagem dos pinos de lacrar na ranhura de travamento, sendo assim, o hpv passa a funcionar como hpf.

Figura 5 - Propulsor HPV



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

6 VOITH SCHNEIDER

No início dos anos 50 foram desenvolvidas as primeiras embarcações com esse sistema de propulsão, que está enquadrado entre os sistemas de propulsão não convencionais.

O sistema de propulsão Voith Schneider é composto de dois conjuntos de lâminas verticais móveis fixados em discos, paralelos ao fundo do rebocador. Os dois conjuntos são localizados na mesma linha transversal e, geralmente, à vante do rebocador. Os discos giram em velocidade constante, produzindo uma força de intensidade e sentido controlados através da variação do ângulo de cada uma das lâminas. O conceito é semelhante ao do hélice de passo controlado, porém, com a diferença de que o posicionamento das pás é transversal à força exercida.

A embarcação que utiliza este sistema possui a necessidade de um skeg (ver em figura no final do capítulo) de grandes proporções localizado a ré, com o objetivo de aumentar a estabilidade de governo.

A principal vantagem deste sistema, além da óbvia importância de poder atuar para vante ou para ré com a mesma força de tração, é a velocidade com que as alterações do sentido da aplicação e da intensidade da força podem ser feitas. A rotação do motor e, conseqüentemente, das pás é mantida constante durante as manobras, sendo o governo e a força de tração controlados pelo mestre através de dois comandos: um volante que define o movimento e a intensidade da força no sentido transversal e duas alavancas operadas em conjunto (uma para cada propulsor) que fazem a mesma função longitudinal. O resultado da ação dos dois comandos se dá através da mudança do ângulo das pás por um processo mecânico bastante simples, o que permite uma resposta imediata da embarcação ao comando do passadiço.

As desvantagens são, principalmente, um grande calado (além das lâminas, há uma estrutura que protege cada propulsor e funciona como direcionador do fluxo de água), o formato do fundo do casco, reto e largo, que pode prejudicar a hidrodinâmica, dificultando a operação em mar aberto ou em alta velocidade, e uma relação entre tração estática e potência do motor inferior a de outros sistemas de propulsão.

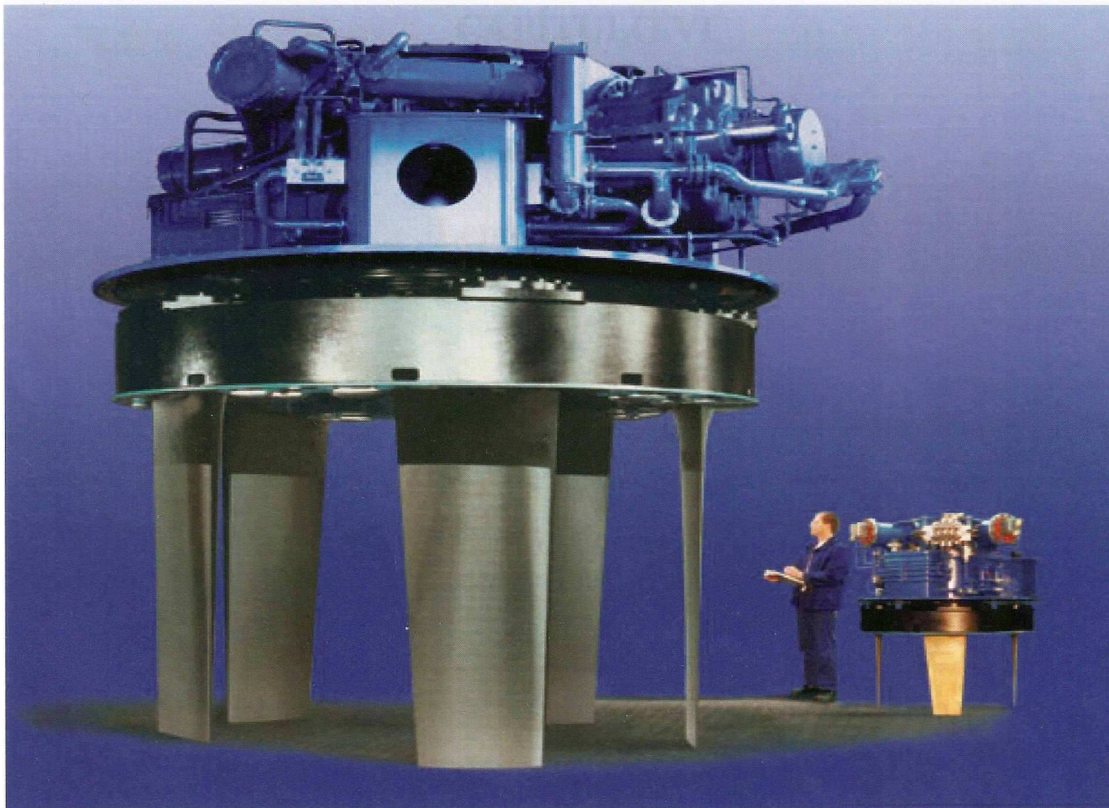
6.1 Sistemas Voith Schneider e Azimutal

Os sistemas Voith Schneider e azimutal são modelos que, apesar de diferentes no que diz respeito à tecnologia do propulsor, permitem às embarcações comportamentos de manobra bastante semelhantes. Em geral podem navegar para ré com a mesma desenvoltura que para vante.

A propulsão Voith Schneider é mais utilizada em rebocadores e possui um deslocamento superior ao do azimutal, de tração estática semelhante. Em compensação o custo de construção e manutenção do sistema azimutal é inferior.

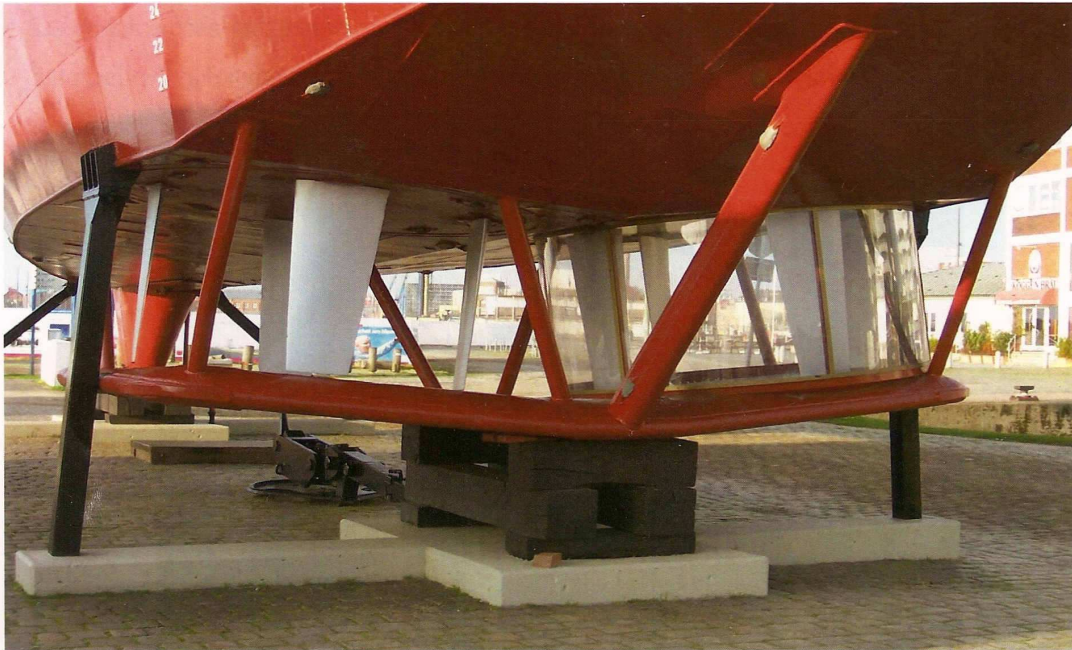
Devido a maior resistência das obras vivas do sistema Voith Schneider este modelo não acaba atuando tão bem quanto o sistema azimutal em termos de velocidade. Por outro lado, exatamente pelo mesmo motivo, menor resistência das obras vivas (além do menor calado dos propulsores, o skeg é geralmente menor) o propulsor azimutal é menos eficiente que o Voith Schneider.

Figura 6 - Propulsor Cicloidal



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

Figura 7 - Skeg



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

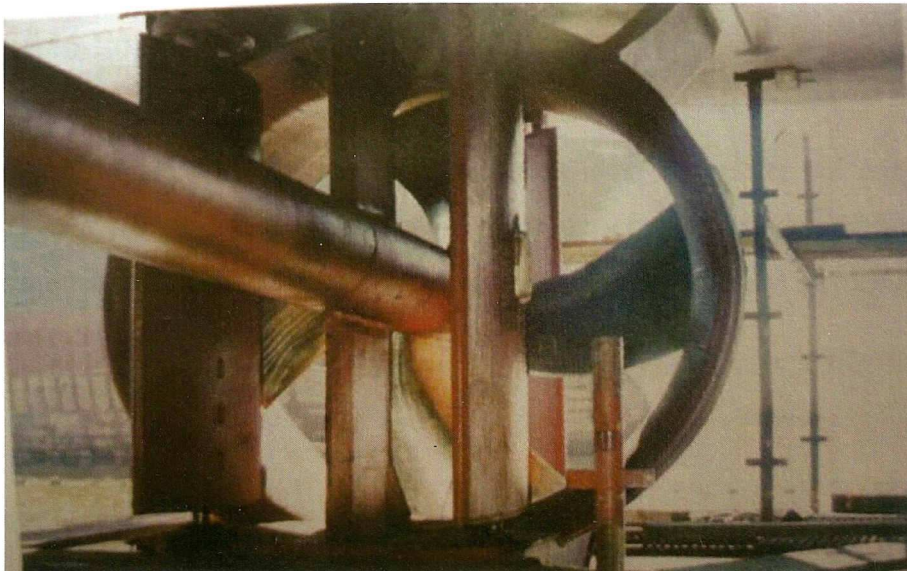
7 LEMES E TUBULÕES

Dadas as dificuldades verificadas nas embarcações de propulsão convencional em diversas situações de manobra, vários aperfeiçoamentos deste sistema surgiram ao longo do tempo, vindo também a serem utilizados nas embarcações mais modernas. Abaixo será apresentado o que existe de mais moderno no que tange lemes e tubulões.

7.1 Leme flanco

São lemes posicionados ante a vante do propulsor e carregados para vante, além dos lemes tradicionais ante a ré do propulsor e carregados para ré. A finalidade desses lemes é a de direcionar o fluxo de água, quando com máquina para a ré, aumentando a governabilidade das embarcações independentemente do número de hélices. São utilizados dois lemes à vante para cada hélice, funcionando de forma independente dos lemes tradicionais posicionados à ré, com melhora considerável do governo, especialmente em embarcações de dois hélices.

Figura 8 - Leme flanco



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.2 Tubulão-Kort

Foi desenvolvido na década de 1930 pelo alemão Ludwig Kort. Após sua criação, foi amplamente difundido por uma empresa inglesa a partir de 1930, quando instalado em um rebocador. Consiste em tubos fixos que envolvem o hélice, organizando o fluxo de descarga e

possibilitando um ganho na tração a vante de até 30%, mas reduzindo a capacidade de governo, o que cria a necessidade de sua associação com lemes mais eficientes.

Figura 9 - Tubulão-Kort

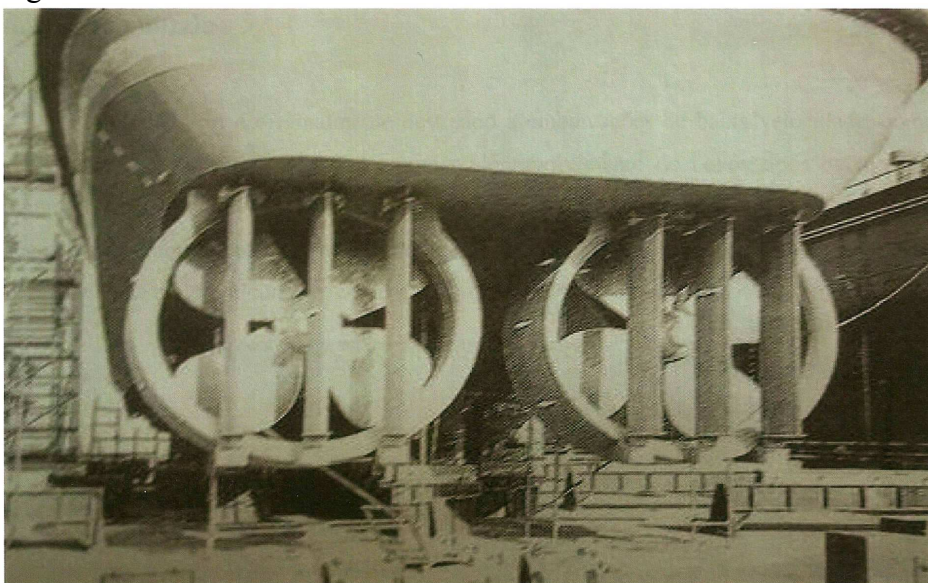


Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.2.1 *Tubulão-Kort e Towmaster*

Algumas embarcações adotam um sistema de leme towmaster em conjunto com o tubulão-kort. Este sistema, que consiste num grupo de lemes instalados à vante e à ré do tubulão, permite uma melhoria no governo e um ganho na potência à ré. O sistema, no entanto, é bastante complexo, o que toma sua utilização reduzida.

Figura 10 - Tubulão-Kort e Towmaster



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.2.2 Tubulão-Kort móvel

Este sistema é menos freqüente, já que sua instalação é mais onerosa. Como indica o nome, trata-se de um tubulão que envolve o hélice, com mobilidade controlada pelo aparelho de governo, isto é, o tubulão funciona como propulsor e leme, direcionando o fluxo de descarga do hélice na direção desejada e aumentando a força de tração e a manobrabilidade da embarcação (independente do número de eixos).

Figura 11 - Tubulão-Kort móvel

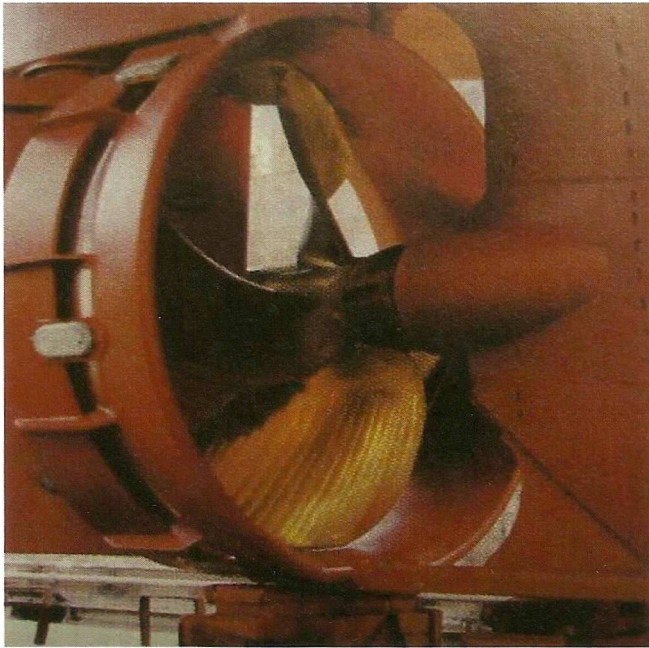


Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.2.3 Wing nozzle

O tubulão-kort é originalmente destinado a embarcações de baixa velocidade, como rebocadores e pesqueiros, entretanto, com o desenvolvimento de novos tipos de tubulão, alguns navios já podem ser encontrados com esse tipo de equipamento. O wing nozzle, com seu pequeno comprimento e formas hidrodinâmicas especiais, foi desenvolvido especialmente para navios de maior velocidade, como navios-tanque e cargueiros.

Figura 12 - Wing nozzle



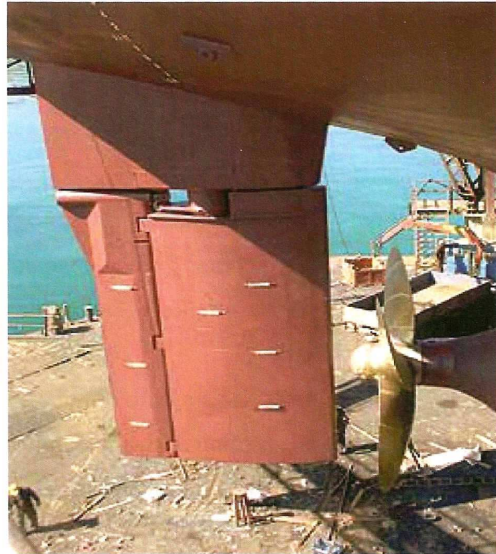
Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.3 Leme Becker

Sua particularidade em relação ao leme convencional é a existência de um flap com área correspondente a 20% ou 30% da área total do leme, que é normalmente governado junto com a parte principal, variando seu ângulo de duas a três vezes o ângulo dado na parte principal.

Com qualquer ângulo de leme, o fluxo de água passa suavemente pela superfície do leme, sem a formação de turbulências que afetem sua eficiência. Como efeito, o navio tem suas qualidades evolutivas bastante aumentadas e com o ângulo máximo de carregamento do leme (aproximadamente 50 graus) o efeito na redução da velocidade é acentuado. Outros tipos de leme dotados de flap móvel tem localizado na extremidade de vante um rotor vertical que melhora ainda mais a organização do fluxo de água evitando que o leme estole.

Figura 13 - Leme Becker

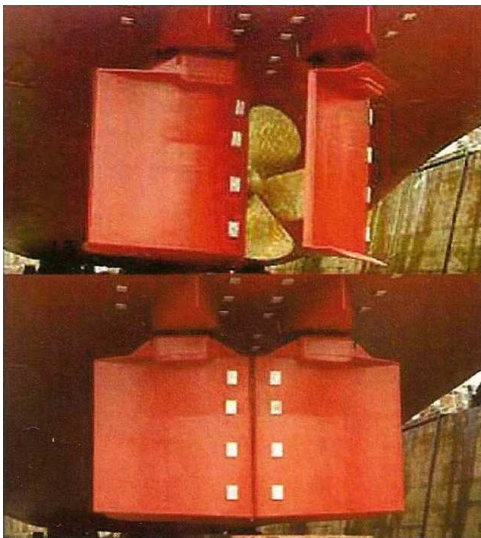


Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.4 Leme Schilling

Este leme oferece qualidades semelhantes ao leme Becker. Possui um formato elíptico na extremidade de vante e em forma de rabo de peixe na extremidade de ré com chapas no topo e na base que impedem a fuga da água por cima ou por baixo do leme, garantindo um fluxo de água organizado, mesmo com ângulos iguais a 70 graus. Este leme apresenta uma excelente performance na versão monovec (um único leme) ou vectwin (dois lemes com um único propulsor), sendo esta última opção bastante incomum e de operação sofisticada, podendo cada leme ser carregado dentro de um arco de 145 graus.

Figura 14 - Leme Schilling



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

7.5 Leme cicloidal (vcr)

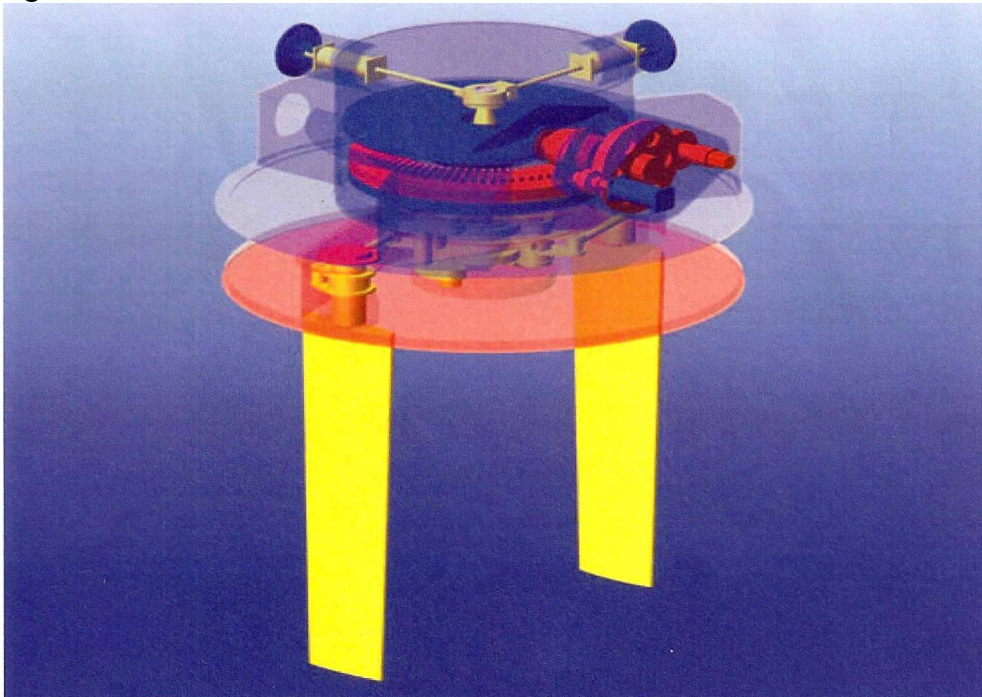
O leme cicloidal ou Voith cicloidal rudder (vcr) foi criado pelo mesmo fabricante dos propulsores Voith Schneider. Como este propulsor, o vcr tem um disco colocado paralelamente ao fundo do navio e deste disco saem duas lâminas. Todo conjunto é localizado por ante a ré do propulsor, recebendo a sua corrente de descarga.

O leme cicloidal pode trabalhar de duas formas: passiva ou ativa. No modo passivo, o rotor apenas gira parcialmente, para um lado ou para o outro, como faria uma porta (dupla) de leme convencional e é usado com o navio em alta velocidade.

Quando a velocidade do navio é baixa e o leme começa a perder eficiência, o vcr passa a atuar no modo ativo. O disco começa a rodar em velocidade uniforme e, como no propulsor Voith Schneider, as lâminas passam a variar seu passo de forma a produzir a força na direção desejada.

No modo ativo, o leme cicloidal pode atuar aumentando ou reduzindo o seguimento, em conjunto com o propulsor principal, ou atuar como um stern-thruster com controle direcional da força aplicada. São vantagens adicionais do leme cicloidal sobre o leme convencional a menor área de atrito e a maior eficiência.

Figura 15 - Leme cicloidal



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

8 PROPULSÃO NUCLEAR

O nome propulsão nuclear é usado para designar grande variedade de métodos de propulsão, os quais usam alguma forma de reacção nuclear como fonte primária de potência. Muitos submarinos militares e um número crescente de grandes navios – quebra-gelos e porta-aviões, usam reactores nucleares como fonte de potência.

8.1 Navios de força nuclear

Um navio de força nuclear é construído com a central nuclear dentro de uma seção do navio cded compartimento do reactor. Os componentes da central nuclear inclui um reator de aço de alta resistência navio, permutador de calor (s) (gerador de vapor), e de encanamentos associados, bombas e válvulas. Cada planta reactor contém mais de 100 mil toneladas de chumbo blindagem, parte da qual é feita radioactivos em contato com material radioactivo ou por activação de neutrões impurezas na liderança.

A energia nuclear é especialmente adequada para os navios que precisam permanecer no mar durante longos períodos de tempo sem reabastecimento, ou para os poderosos submarinos de propulsão. Mais de 150 navios são movidos por mais de 220 pequenos reactores nucleares e de reactores mais de 12000 anos de funcionamento marinhos tem sido acumulada.

A maior parte são os submarinos, mas eles vão de icebreakers a porta-aviões.

No futuro, as limitações ao uso de combustíveis fósseis nos transportes marítimos podem trazer propulsão nuclear em uma utilização mais alargada. Até agora, receios exagerados sobre segurança têm causado político restrição de acesso ao porto.

8.2 Princípio de funcionamento da propulsão nuclear

A propulsão de uma unidade de força nuclear navio ou submarino utiliza um reator nuclear para **gerar** calor. O calor vem da cisão de combustível nuclear contido dentro do reactor. Uma vez que o processo fisioning também produz radiações, escudos estão colocadas em torno do reator de modo a que a tripulação está protegida.

A propulsão nuclear usa uma planta reactores a água pressurizada concepção que tem dois sistemas básicos - um sistema primário e um sistema secundário. O principal sistema ordinário circula água e consiste no reactor de tubagem loops, bombas e geradores de vapor.

O calor produzido no reactor é transferido para a água sob alta pressão para que ele não ferver. Essa água é bombeada através de geradores de vapor e de volta para o reator para a re-aquecimento.

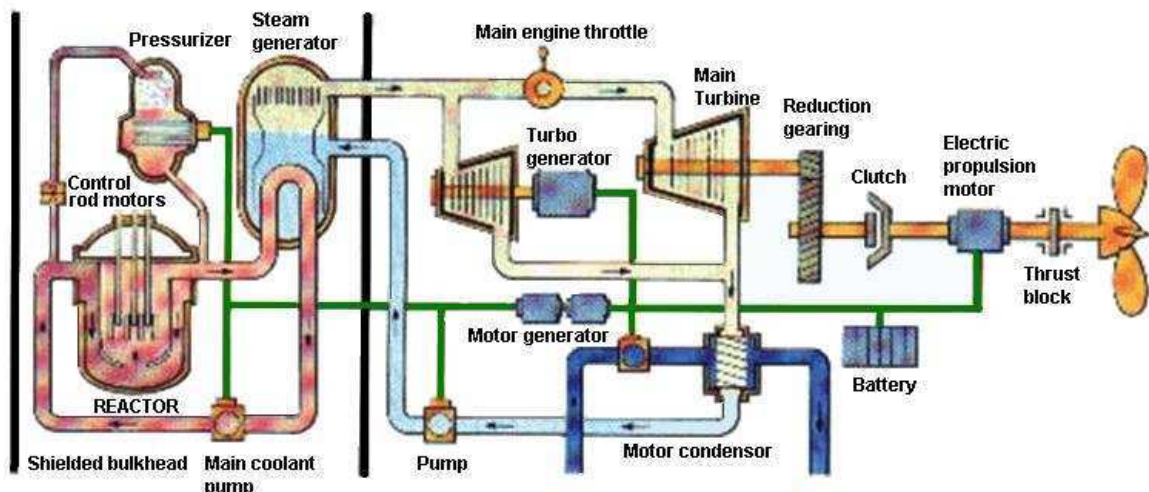
Nos geradores de vapor, o calor da água no sistema primário é transferido para o sistema secundário de criar o vapor. O sistema secundário é isolado do sistema primário de modo a que a água nos dois sistemas não intermix.

No sistema secundário, os fluxos de vapor a partir de geradores de vapor para acionar as turbinas geradoras, que abastecem o navio com eletricidade, e para a propulsão principal turbinas, que conduza a hélice. Depois de passar pelo turbinas, o vapor é condensada em água, que é alimentado de volta para os geradores de vapor pelas bombas de alimentação. Desta forma, ambos os sistemas primários e secundários são sistemas fechados, onde a água é reciclada e renovada.

Uma vez que não existe um passo na geração desta energia, que exige a presença de ar ou oxigênio, isto permite que o navio operar completamente independente da atmosfera da Terra por longos períodos de tempo.

Figura 16 - Funcionamento de um sistema de propulsão nuclear

Pressurized-water Naval Nuclear Propulsion System



Fonte: CAMACHO, Ricardo Montez. Moderno Sistema de Propulsão das Embarcações Mercantes, 2006.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir que os modernos sistemas de propulsão mencionados neste estudo têm, basicamente, como finalidade, gerar lucro para as empresas envolvidas nas atividades marítimas e segurança para o pessoal de bordo. Entretanto, como já foi citado, estes modelos e acessórios de propulsão são passageiros e tendem a dar lugar a outros que irão surgir.

O novo sistema que deve entrar no mercado, dentro de uns cinco anos, fornecendo propulsão as embarcações é a antiga turbina a vapor. Ela foi extinta, apesar de possuir uma eficiente velocidade final, por ser de cara aquisição e sua resposta aos comandos de manobra ser inferior aos sistemas concorrentes da época.

Atualmente, com a criação de várias usinas siderúrgicas e a conseqüente queda do valor do aço-inox (material necessário utilizado nas tubulações das turbinas por elas trabalharem com vapor superaquecido), barateando a construção das turbinas a vapor e com o advento de softwares programados para melhorar o rendimento dos gráficos termodinâmicos das mesmas, concorrendo com vantagem com os sistemas atuais. Começa-se então, a pensar na volta desse sistema, devido, além dos benefícios citados acima, sua manutenção ser mais barata e ser efetuada em um intervalo de tempo bem maior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMACHO, Ricardo Montez. **Moderno sistema de propulsão das embarcações mercantes**. 2006.

CARDOSO, José Roberto. UM-BC/ATPS-MRL/TBM.

FEAGOSO, Otávio A.; CAJATY, Marcelo. **Rebocadores portuários**. 1º ed. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Praticagem, 2002.

NUCLEAR-Powered Ships. Disponível em: <www.google.com>. Acesso em: 04 out. 2014.

OPERAÇÃO e Manutenção de fabricantes de turbina a gás (Manuais de treinamento).

PAIXÃO, José Guilherme M. UN-BC/ATP-S/TBM.

TAGART, Robert. **Marine propulsion**: principles e evolution. Houston, Texas: Gulf Publication Company.

TREINAMENTO/Manuais de operação elaboradas pelos Técnicos de Operação (Apostilas).

VALADÃO, Cleuber Pozes. UM-RIO/ATP-MLS/TBM.