MARINHA DO BRASIL

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA

ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

RAQUEL ABREU DE SOUZA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ANALISANDO SISTEMA DE PROPULSÃO E FORMATO DE CASCO

RIO DE JANEIRO

2014

RAQUEL ABREU DE SOUZA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ANALISANDO SISTEMA DE PROPULSÃO R FORMATO DE CASCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Hermann Regazzi Gerk

Engenheiro químico, especialista em Mecânica dos Fluidos.

RIO DE JANEIRO

2014

RAQUEL ABREU DE SOUZA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ANALISANDO SISTEMA DE PROPULSÃO E FORMATO DE CASCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Professor Hermann Regazzi Gerk.

Eng. químico, especialista em Mecânica dos Fluidos.

_____

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL:_____

Dedico esse trabalho aos meus pais, por seu amor, dedicação, apoio constante e por serem meu exemplo não só no âmbito profissional, mas também exemplos de força e determinação, que foram fundamentais para que eu conseguisse atingir meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem sua benção não teria conquistado meus sonhos. Aos meus pais, Artemizia Duarte e Manoel Gomes, por sua ajuda, aconselhamento e pelo enorme carinho. Aos meus amigos que contribuíram cada um ao seu modo para a realização deste trabalho. Ao Mestre Hermann Regazzi Gerk, pela orientação, ensinamentos e paciência para me ajudar na realização deste trabalho.

RESUMO

Atualmente os projetos de embarcações almejam obter um resultado que proporcione uma otimização de seu espaço e um melhor desempenho evitando perdas, reduzindo o consumo de combustível, ruídos, vibrações e emissão de gases poluentes provenientes de navios, acompanhando a preocupação global com as mudanças climáticas do nosso planeta. Deste modo, o sistema propulsivo e o formato de casco são dois elementos fundamentais para que o navio apresente qualidade de transporte e viabilidade econômica. Este trabalho tem como finalidade analisar os sistemas propulsivos utilizados por navios e os formatos dos cascos dos mesmos, comparando-se vantagens e desvantagens e, assim, concluindo-se qual dentre esses sistemas e formatos destaca-se aquele que melhor fornece eficiência energética.

Palavras-chave: Eficiência energética. Sistemas propulsivos. Otimização dos formatos dos cascos de embarcações.

ABSTRACT

Currently the draft vessels aspire to get a result that provides an optimization of your space and better performance by avoiding losts, reducing fuel consumption, noise, vibration and emission of greenhouse gases from ships, following the global concern over the climate changes our planet. Thus, the propulsion system and the shape of the hull are two key elements to the ship forward transmission quality and economic viability. This work aims to analyze the propulsion systems used by ships and the shape of the hull of these, comparing advantages and disadvantages and concluding which of these systems and formats stands out by providing better energy efficiency.

Key-words: Energy efficiency. Propulsive systems. Optimization of hull vessels format.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de redução (em percentagem) para o EEDI relativo à Linha de Referência do EEDI 20

Tabela 2 - Parâmetros para determinação de valores de referência para os diferentes tipos de navios 21

Tabela 3 - Exemplos de ganhos em eficiência com ações de otimização para navios existentes e para navios novos 64

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico apresentando as resistências de um navio convencional 25

Figura 2 - Formação do trem de ondas 27

Figura 3 - Comparação entre as velocidades de um navio convencional e um navio utilizando bulbo de proa 27

Figura 4 - Ilustração antes da otimização das linhas de popa 28

Figura 5 - Ilustração após a otimização das linhas de popa 29

Figura 6 - Otimização de popa de embarcação ao serem alteradas suas linhas de popa 29

Figura 7 - Ilustração de embarcação com skegs duplo 30

Figura 8 - Ilustração do skew de um hélice. 32

Figura 9 - Ilustração de skew apresentado nas pás 32

Figura 10 - Ilustração de sistema de propulsão mecânico direto. 35

Figura 11 - Ilustração de sistema de propulsão mecânica indireta 36

Figura 12 - Comparação entre o espaço ocupado por uma turbina a gás e um motor a diesel 37

Figura 13 - Sistema de dois hélices e dois lemes 38

Figura 14 – Sistema de dois hélices e dois lemes 39

Figura 15 - Representação do sistema recuperador de energia 40

Figura 16 - Navio Americano USS Jupiter, primeiro navio a usar sistema de propulsão elétrica 41

Figura 17 - Embarcação com sistema de propulsão diesel-elétrica 43

Figura 18 - Sistema de propulsão diesel-elétrica 44

Figura 19 - Gráfico comparando a quantidade de gases poluentes emitidos pelos sistemas de propulsão 45

Figura 20 - Sistema de propulsão diesel-elétrica 46

Figura 21 - Unidade Pod 47

Figura 22 - Representação de uma unidade Pod com seus respectivos componentes 48

Figura 23 - Propulsão diesel elétrica com propulsores azimutais 50

Figura 24 - Motor síncrono de ímãs permanentes 52

Figura 25 - Equipamentos de um sistema híbrido 55

Figura 26 – Embarcação com sistema de propulsão híbrido 56

Figura 27 - Ilustração do navio de cruzeiro Queen Mary 2 59

Figura 28 - Motor a diesel do navio de cruzeiro Costa Concordia 60

Figura 29 - Motor elétrico do navio de cruzeiro Costa Concordia 60

Figura 30 - STX em mar calmo 61

Figura 31 - STX em mar calmo 61

Figura 32 - STX-OSV em mar com grandes ondas 62

Figura 33 - Ilustração do Maersk Triple E 63

Figura 34 - Comparação de gasto de energia entre os sistemas de propulsão mecânica e elétrica 65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MARPOL - Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios

MEPC - Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho

DP - Dinamic Position

Cb - Coeficiente de bloco

IMO - Organização Marítima Internacional

CFD - Computação em fluido dinâmica

LOA - Comprimento total

B - Boca

D - Calado

Vdesl - Velocidade de Deslocamento

w - Valor de esteira nominal em cada ponto.

rpm - Rotações por minuto

kW - Quilowatts

CV - Cavalos

LNG - Liquefied Natural Gas

NOx – Óxido de nitrogênio

CO2 - Dióxido de carbono

MW - Megawatts

MCP - Motor de Combustão Principal

MCA - Motor de Combustão Auxiliar

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**14**
2	**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ATUANDO DE ACORDO COM AS NORMAS**	**16**
2.1	**Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho (MEPC)**	**16**
2.2	**Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (Convenção MARPOL)**	**15**
2.3	**Anexo VI: regras para a prevenção da poluição do ar por navios**	**17**
2.4	**Regra 6 - Emissão ou Endosso de Certificados**	**17**
2.5	**Regra 19 – Aplicação**	**17**
2.6	**Regra 20 - Índice de Eficiência Energética de Projeto Atingido (EEDI Atingido)**	**18**
2.7	**Regra 21 – Índice de Eficiência Energética de Projeto Requerido (EEDI Requerido)**	**19**
3	**HIDRODINÂMICA DAS EMBARCAÇÕES**	**24**
3.1	**Melhorias da resistência e formato do casco**	**24**
3.1.1	Resistência ao Avanço	25
3.1.2	Otimização das Linhas de Proa	26
3.1.3	Otimização das Linhas de Popa	28
3.1.4	Formato de casco	30
3.2	**Otimização de propulsores**	**31**
4	**SISTEMAS DE PROPULSÃO**	**34**
4.1	**Propulsão Mecânica ou Propulsão Convencional**	**34**

4.1.1	Propulsão mecânica direta	34
4.1.2	Propulsão mecânica indireta	35
4.1.3	Comparação entre as instalações propulsoras utilizadas	36
4.1.4	Sistema de propulsão de dois hélices e dois lemes	37
4.1.5	Vantagens e desvantagens da propulsão mecânica	39
4.2	**Propulsão Elétrica**	**41**
4.2.1	Propulsão Diesel-Elétrica	42
4.2.2	Propulsão Azimutal	46
4.2.3	Propulsão por ímãs permanentes	50
4.2.4	Sistemas Híbridos	53
5	**ESTUDOS DE CASO**	**58**
5.1	**Navio Queen Mary 2**	**58**
5.2	**STX – OSV**	**60**
5.3	**Maersk Triple E**	**62**
6	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**	**64**
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	**67**

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos as fontes de energia usadas na propulsão de embarcações evoluíram do vapor até os modernos sistemas propulsivos. Na década de 70, embarcações utilizavam como fonte de energia a propulsão mecânica, a qual apresentava alguns problemas, tais como vibrações, ruídos, alto consumo de combustível dentre outros. Com a tendência do aumento da estrutura das embarcações, os sistemas propulsivos e equipamentos também tiveram suas estruturas aumentadas em tamanho. Contudo, os problemas antes já existentes continuaram e aumentaram também, já que na época não houve preocupação sobre o desenvolvimento dos equipamentos internos do navio.

Assim, o mercado passou a exigir que a estrutura das embarcações e seus respectivos equipamentos apresentassem novas tendências técnicas, aumentando a vida útil e os sistemas projetados devem possuir alta confiabilidade, de maneira a não prejudicar a operação dos navios ou dos sistemas oceânicos. Além disso, os problemas hidrodinâmicos estruturais passaram a ser alvo de correção e houve o aumento pela de busca de navios cada vez mais eficientes, com obtenção de maiores potências e redução de peso. Os requisitos atuais englobam eficiência energética, segurança, preocupação ambiental e desempenho em serviço.

Este trabalho visa abordar a eficiência energética das embarcações analisando seu formato de casco e seus sistemas propulsivos. Pode-se observar que as tendências mundiais possuem maior foco na busca de eficiência energética e na necessidade da redução de gases poluentes provenientes de embarcações, o que resulta em pesquisas e na introdução de inovações em materiais, em sistemas de propulsão, em sistemas de manobras, em sistemas de controle e outros. Deste modo, um navio torna-se mais eficiente energicamente apresentando:

- Melhorias na resistência do casco: escolha de principais parâmetros para correção de efeito de águas rasas, melhoria nas linhas de casco e no formato de proa e popa e redução de peso, provocando redução de resistência;
- Melhorias na eficiência da propulsão e transmissão: procura por propulsores eficientes, como hélices, jatos, dentre outros, e procura por novas transmissões de energia- mecânica, elétrica, hidráulica, o que aumenta o rendimento;

- Melhoria dos mecanismos de propulsão: com nova geração de motores a diesel, uso de outros tipos de motores, provocando redução do consumo de combustível.

Assim, os incrementos no produto navio se dão através de: sistemas para economizar energia e reduzir emissões de poluentes, de sistemas de propulsão e manobras, e de formas e novas concepções. A eficiência energética utiliza, por exemplo, hélices contra-rotativos, hélices com aletas nos bossos, dutos regularizadores de fluxo, aletas direcionadoras de fluxo e sistema de propulsão diesel-elétrica, visando sempre melhorias no ponto de vista energético. Pode-se citar como embarcações com alta eficiência energética, diferentemente de embarcações ditas convencionais, os "barcos de apoio" cuja operação é contínua com rendimento contínuo irrestrito, isto é, as unidades de acionamento estão sujeitas a maiores níveis de estresse e exigem confiabilidade total.

Além disso, a maioria delas apresenta sistema DP2, ou seja, possuem maior necessidade de redundância de seus equipamentos e seus projetos procuram atendê-la, buscando desenvolver uma alta eficiência e diminuição dos problemas apresentados pelos navios convencionais. Também há outras não pertencentes ao grupo de embarcações de apoio, mas apresentam alta eficiência energética, como o Queen Mary 2.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ATUANDO DE ACORDO COM AS NORMAS

Os métodos de eficiência energética para embarcações adotados devem atuar de acordo com as normas da Convenção MARPOL(Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios/International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) seguindo o Protocolo de 1997 que foi implantado pelo MEPC 203(62) de 2011.

2.1 Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho (MEPC)

Comitê de Proteção do Meio Ambiente Marinho é o "órgão encarregado de examinar todas as questões que sejam da competência da IMO, com relação à prevenção e controle de poluição marinha e do ar, originada por navios, incluindo a cooperação com outras organizações internacionais acerca de questões relativas ao meio ambiente."

Desde seu início, o Comitê vem analisando as disposições propostas pela MARPOL com objetivo de solucionar ambiguidades e dificuldades, desenvolvendo interpretações unificadas da Convenção. As atividades exercidas pelo MEPC resultaram em interpretações unificadas e emendas adicionadas à Convenção.

2.2 Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios (Convenção MARPOL)

Pertencente ao grupo de convenções adotadas pela IMO, a Convenção Marpol foi assinada em 17 de Fevereiro 1973 e entrou em vigor em 02 de outubro de 1983. Posteriormente emendada pelo Protocolo de 1978, passou a ser conhecida como MARPOL 73/78. Mais adiante foi também adotado o Protocolo de 1997, que acrescentou um Anexo VI à Convenção.

Tal Convenção tem como objetivo o estabelecimento de regras para a completa eliminação da poluição intencional do meio ambiente por óleo e outras substâncias danosas oriundas de navios, bem como a minimização da descarga acidental daquelas substâncias no ar e no meio ambiente marinho.

A MARPOL 73/78 contém anexos, visando à prevenção de diferentes formas de poluição marinha e do ar por navios:

- Anexo I: regras para a prevenção da poluição por óleo
- Anexo II: regras para o controle da poluição por substâncias líquidas nocivas a granel
- Anexo III: regras para a prevenção da poluição por substâncias danosas transportadas por mar sob a forma de embalagens
- Anexo IV: regras para a prevenção da poluição por esgoto dos navios
- Anexo V: regras para a prevenção da poluição por lixo dos navios
- Anexo VI: regras para a prevenção da poluição do ar por navios

2.3 Anexo VI: regras para a prevenção da poluição do ar por navios

O anexo VI foi adicionado à convenção MARPOL de acordo com o Protocolo de 1997, visando incluir regras sobre eficiência energética. As regras que abordam tal assunto são a regras 6, 19, 20 e 21, sendo essas três últimas contidas no Capítulo 4 (Regras sobre Eficiência Energética para Navios) do referente anexo. Tais regras são extensas, contudo não devem ser omitidas.

2.4 Regra 6 - Emissão ou Endosso de Certificados

Sobre essa regra, a parte que deve ser destacada trata do Certificado Internacional de Eficiência Energética, na qual a Convenção determina que:

"Um Certificado Internacional de Eficiência Energética deverá ser emitido após uma vistoria, de acordo com as disposições da regra 5.4, para qualquer navio com arqueação bruta de 400 e acima antes que o navio possa ser empregado em viagens a portos ou terminais ao largo (offshore) sob a jurisdição de outras Partes. O certificado deverá ser emitido ou endossado pela Administração ou por qualquer organização por ela devidamente autorizada. Em todos os casos, a Administração assume total responsabilidade pelo certificado."

2.5 Regra 19 – Aplicação

"1 Este capítulo deverá se aplicar a todos os navios com arqueação bruta de 400 e acima.
2 As disposições deste capítulo não deverão se aplicar a:
.1 navios engajados exclusivamente em viagens em águas sujeitas à soberania ou jurisdição do Estado cuja bandeira o navio está autorizado a arvorar. No entanto, cada Parte deve assegurar pela adoção de medidas adequadas que esses navios foram construídos e atuam de forma coerente com o Capítulo 4, na medida do razoável e praticável.
3 As Regra 20 e Regra 21 não deverão se aplicar a navios que tenham propulsão diesel-elétrica, turbinas de propulsão ou sistemas de propulsão híbrida.
4 Apesar do disposto no parágrafo 1 desta regra, a Administração pode dispensar para um navio com arqueação bruta de 400 e acima a exigência do cumprimento da Regra 20 e da Regra 21.
5 O disposto no parágrafo 4 desta regra não deverá se aplicar a navios com arqueação bruta de 400 e acima:

.1 para os quais o contrato de construção seja assinado em 1º de janeiro de 2017 ou depois; ou

.2 na ausência de um contrato de construção, cuja quilha tenha sido batida ou esteja num estágio de construção semelhante em 1º de julho de 2017 ou depois; ou

.3 cuja entrega tenha sido feita em 1º de julho de 2019 ou depois.

.4 em casos de uma conversão de vulto de um navio novo ou de um navio existente, como definido na Regra 2.24, em 1º de julho de 2017 ou depois, e naqueles aos quais a Regra 5.4.2 e a Regra 5.4.3 do Capítulo 2 se aplicam.

6 A Administração de uma Parte da presente Convenção que permitir a aplicação do parágrafo 4, ou que suspender, retirar ou abrir mão da aplicação desse parágrafo, para um navio autorizado a arvorar a sua bandeira deverá comunicar imediatamente à Organização, para divulgação às Partes do presente Protocolo, os detalhes da sua medida, para sua informação."

2.6 Regra 20 - Índice de Eficiência Energética de Projeto Atingido (EEDI Atingido)

“1 O EEDI atingido deverá ser calculado para:

.1 cada navio novo;

.2 cada navio novo que tenha sofrido uma conversão de vulto; e

.3 cada navio novo ou navio existente que tenha sofrido uma conversão de vulto que seja tão extensa que o navio seja considerado pela Administração como um navio recém construído que se enquadre em uma ou mais das categorias das Regras 2.25 a 2.35. O EEDI atingido deverá ser específico para cada navio e deverá indicar o desempenho estimado do navio em termos de eficiência energética, e ser acompanhado pela ficha técnica do EEDI que contenha as informações necessárias para o cálculo do EEDI atingido e que mostre o processo de cálculo. O EEDI atingido deverá ser verificado, com base na ficha técnica do EEDI, ou pela Administração ou por qualquer organização por ela devidamente autorizada.

2 O EEDI atingido deverá ser calculado levando em conta as diretrizes desenvolvidas pela Organização.”

2.7 Regra 21 – Índice de Eficiência Energética de Projeto Requerido (EEDI Requerido)

1 Para cada:

.1 navio novo;

.2 navio novo que tenha sofrido uma conversão de vulto; e

.3 navio novo ou navio existente que tenha sofrido uma conversão de vulto que seja tão extensa que o navio seja considerado pela Administração como um navio recém construído que se enquadre em uma das categorias definidas nas Regras 2.25 a 2.31 e para o qual este capítulo seja aplicável, o EEDI atingido deverá ser o seguinte: EEDI Atingido $\leq$ EEDI Requerido = (1 – X/100) x Valor da Linha de Referência, onde X é o fator de correção especificado na tabela 1 para o EEDI requerido comparado a Linha de Referência do EEDI.

2 Para cada navio novo ou navio existente que tenha sofrido uma conversão de vulto que seja tão extensa que o navio seja considerado pela Administração como um navio recém construído, o EEDI atingido deverá ser calculado e atingir a exigência do parágrafo 2.1 com o fator de redução aplicável correspondendo ao tipo e tamanho do navio convertido na data do contrato de conversão, ou, na ausência de um contrato, na data de início da conversão.

Tabela 1: Fatores de redução (em percentagem) para o EEDI relativo à Linha de Referência do EEDI

Tipo de Navio	Tamanho	Fase 0 01/Jan/2013 - 31/Dez/2014	Fase 1 01/Jan/2015 - 31/Dez/2019	Fase 2 01/Jan/2020 - 31/Dez/2024	Fase 3 01/Jan/2025 e Adiante
Navio graneleiro	20.000 DWT e acima	0	10	20	30
	10.000 – 20.000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Navio tanque transportador de gás	10.000 DWTe acima	0	10	20	30
	2.000 – 10.000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Navio tanque	20.000	0	10	20	30

	DWT e acima				
	4.000 – 20.000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Navio porta-contêiner	15.000 DWTe acima	0	10	20	30
	10.000 – 15.000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Navio de carga geral	15.000 DWT e acima	0	10	15	30
	3.000 – 15.000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Navio transportador de carga refrigerada	5.000 DWT e acima	0	10	15	30
	3.000 – 5.000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Navio minero petroleiro	20.000 DWT e acima	0	10	20	30
	4.000 – 20.000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*

Fonte: www.ccaimo.mar.mil.br

* Fator de redução a ser interpolado linearmente entre os dois valores dependendo do tamanho da embarcação. O fator de redução de menor valor deverá ser aplicado ao navio de menor tamanho.

n/a significa que o EEDI Requerido não se aplica.

3 O valor da Linha de Referência deverá ser calculado como se segue:

Valor da Linha de Referência = $a \cdot b^{-c}$, onde a, b e c são parâmetros dados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros para determinação de valores de referência para os diferentes tipos de navios

Tipo de navio definido na Regra 2	a	b	c
2.25 Navio graneleiro	961,79	DWT do navio	0,477
2.26 Navio tanque transportador de gás	1120,00	DWT do navio	0,456
2.27 Navio tanque	1218,80	DWT do navio	0,488
2.28 Navio porta-contêiner	174,22	DWT do navio	0,201
2.29 Navio de carga geral	107,48	DWT do navio	0,216
2.30 Navio transportador de carga refrigerada	227,01	DWT do navio	0,244
2.31 Navio mineropetroleiro	1219,00	DWT do navio	0,488

Fonte: www.ccaimo.mar.mil.br

4 Se o projeto de um navio permitir que ele se enquadre em mais de uma das definições dos tipos de navio especificados na tabela 2, o EEDI requerido para o navio deverá ser o mais rigoroso (o menor).

5 Para cada navio a que esta regra se aplique, a potência de propulsão instalada não deverá ser inferior à potência de propulsão necessária para manter a manobrabilidade do navio em condições adversas, como definido nas diretrizes a serem desenvolvidas pela Organização.

6 No início da Fase 1 e no meio da Fase 2, a Organização deverá analisar a situação de desenvolvimento tecnológico e, se demonstrado necessário, alterar os prazos, os parâmetros da linha de referência do EEDI e as taxas de redução estabelecidas nesta regra.”

3 HIDRODINÂMICA DAS EMBARCAÇÕES

O aumento da eficiência de um navio pode ser obtido por melhorias no projeto do casco, nos sistemas de propulsão e no processo de manutenção. Do ponto de vista hidrodinâmico, para obter-se eficiência dois objetivos devem ser seguidos: melhorar a resistência e formato do casco, principalmente estudar as linhas de proa e as linhas de popa, e avaliar a utilização de propulsores mais eficientes para cada caso.

Assim, para que as embarcações apresentem alto desempenho três características devem ser levadas em consideração: propulsão, seakeeping e manobrabilidade. Elas devem possuir alta eficiência na propulsão, capacidade para enfrentar condições de mar adversas e devem ser adequadas para garantir uma navegação segura. A eficiência é aumentada à medida que o desempenho hidrodinâmico da embarcação é aumentado, ao introduzir aperfeiçoamentos na forma do casco, nos dispositivos de incremento da propulsão (PID) e na otimização do propulsor.

A otimização do formato do casco se dá através da análise e da adaptação das principais dimensões, capacidade de carga, velocidade de projeto, otimização da proa do navio, otimização da popa, minimização das resistências, projeto com skegs duplos, comprimento total e boca.

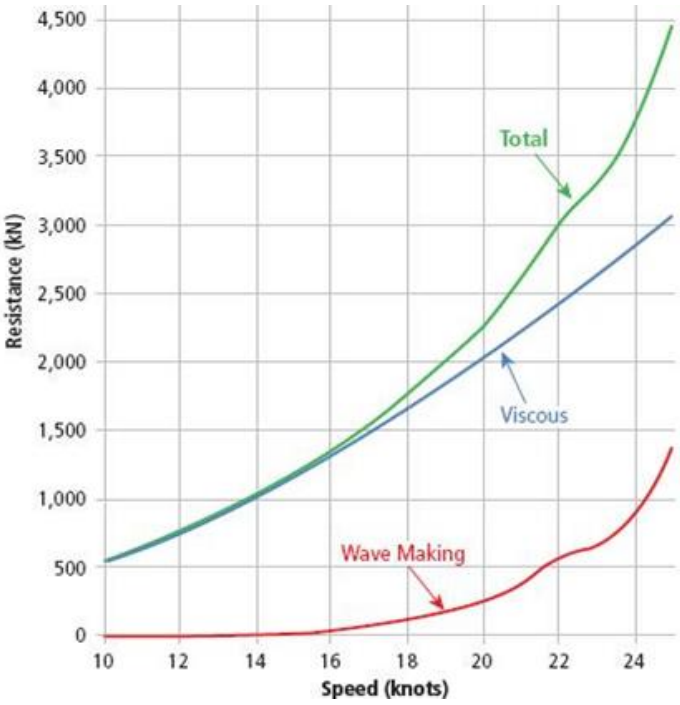
3.1 Melhorias da resistência e formato do casco

As principais dimensões apresentadas pelas embarcações são comprimento total, boca, calado, as razões LOA/B e B/D, e coeficiente de bloco que é dado pela fórmula Vdesl/ (LOAxBxD). Ao aumentar a razão LOA/B ou aumentar somente o comprimento da embarcação e ao reduzir o Cb, a embarcação pode vir a apresentar uma economia do consumo de combustível para a propulsão de até 3 a 5%. Tal medida pode ser tomada por todos os tipos de navios e podes ser notada naqueles mais modernos. A desvantagem é o alto custo cobrado para aumentar-se o comprimento, dimensão mais cara em comparação com o custo de aumento da boca ou do calado.

3.1.1 Resistência ao Avanço

Na área da hidrodinâmica de embarcações os projetos e estudos são de extrema importância e o formato do casco influi muito quanto à resistência ao avanço apresentada pelo navio. As componentes da resistência ao avanço são: resistência ao vento, resistência de ondas, resistência dos apêndices e resistência viscosa.

Figura 1 - Gráfico apresentando as resistências de um navio convencional



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

A resistência viscosa se manifesta na esteira que a embarcação arrasta atrás de si. Uma embarcação que apresenta um casco com grande superfície em contato com a água tem maior resistência viscosa do que outro que apresenta menor contato com a água. A resistência de ondas é outra componente importante da resistência ao avanço e ela provoca redução na força útil do navio.

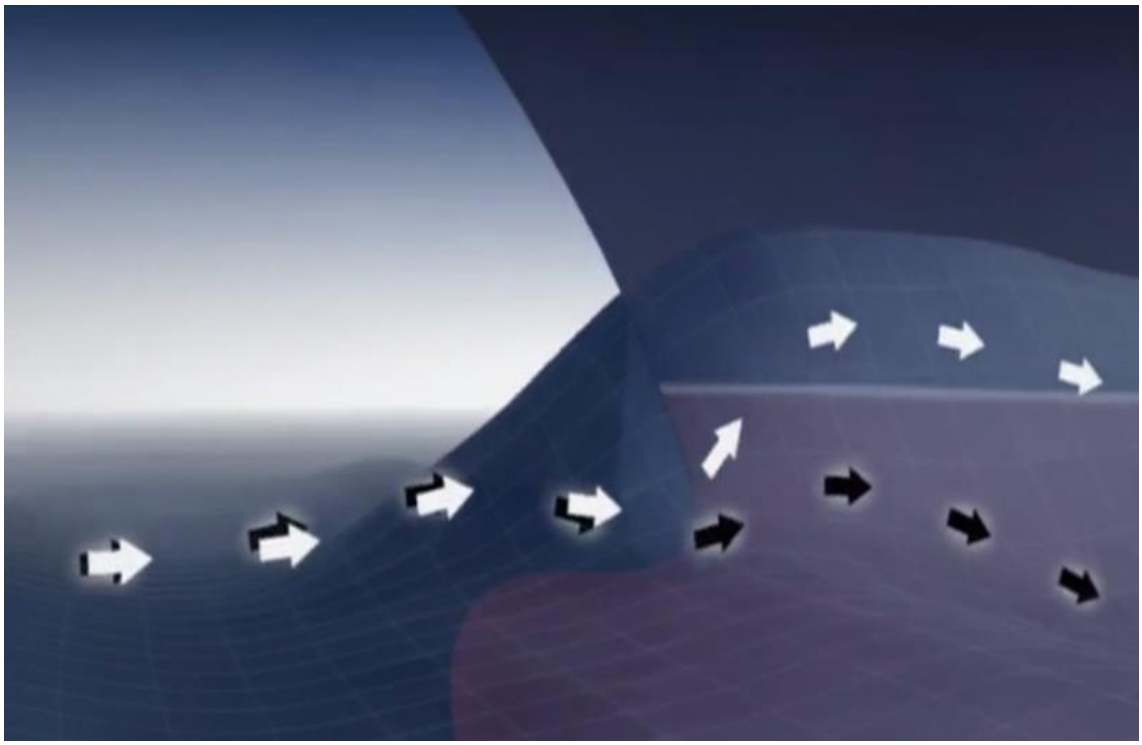
As ondas são formadas pela energia transmitida à água pelo movimento do casco. A ondulação provocada apresenta dois trens de ondas gerados cada qual nos extremos do casco, um mais intenso gerado à proa e outro à popa, sendo este último menos perceptível que o primeiro. Um trem de proa possui duas ondas componentes: ondas transversais, as quais acompanham o navio ou embarcação com sua mesma velocidade, também no mesmo sentido e direção, e divergentes, as quais têm a mesma velocidade da componente da velocidade do navio na direção de seu movimento. Entretanto, a direção das ondas divergentes tem um ângulo de 19°28’ com a direção do movimento da embarcação, e isto significa que as divergentes terão velocidades menores que a do navio.

3.1.2 Otimização das Linhas de Proa

Com o objetivo de otimizar as linhas de proa foram projetados os chamados bulbos de proa, que são protuberâncias submersas na proa dos navios que têm por finalidade alterar a forma dos trens de onda de proa. Os bulbos têm sido utilizados na grande maioria dos navios comerciais de grande porte e alto coeficiente de bloco. Na velocidade de cruzeiro, pode significar cerca de 5% de economia de combustível por conta de sua utilização. Os trens apresentam ondas maiores quando o casco não apresenta forma esbelta, ou seja, não apresenta bulbo de proa.

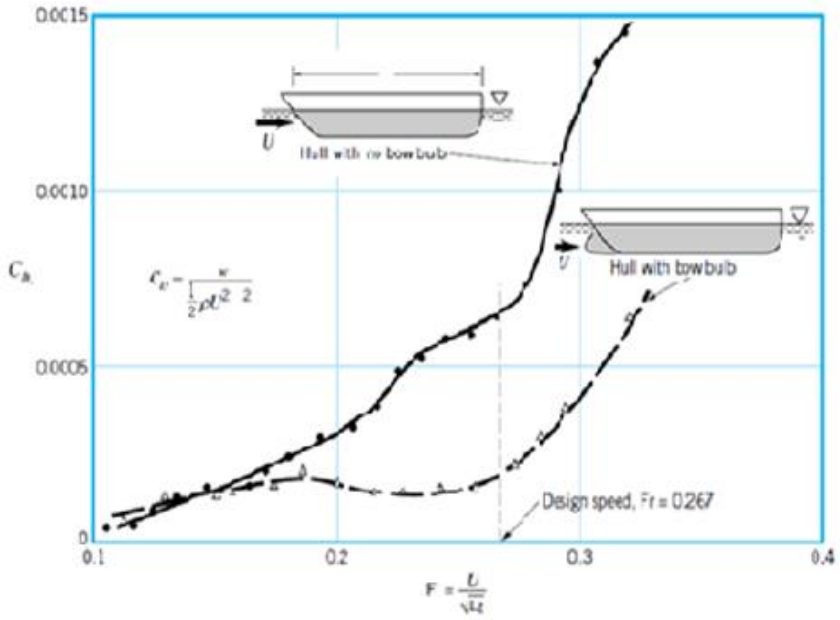
Contudo, os bulbos de proa aumentam a área molhada da embarcação, ou seja, aumentam a superfície do casco em contato com a água e, como consequência, agravam a resistência viscosa. Assim, para que o bulbo apresente vantagem ao ser utilizado, a resistência de ondas deve ser diminuída de modo que o agravamento da resistência viscosa seja menor que o ganho na resistência de ondas.

Figura 1 - Formação do trem de ondas



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Figura 3 - Comparação entre as velocidades de um navio convencional e um navio utilizando bulbo de proa



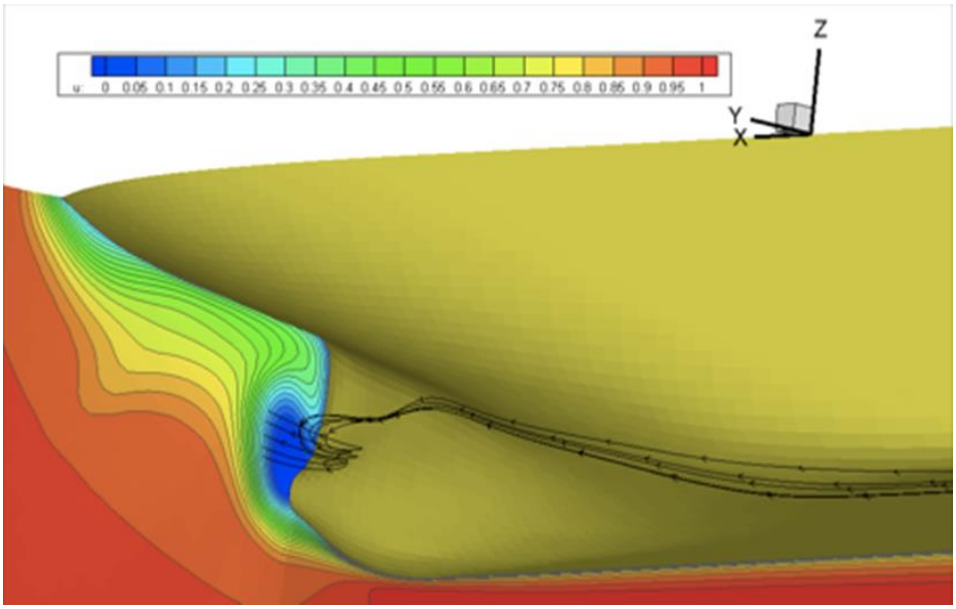
Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

3.1.3 Otimização das Linhas de Popa

As linhas de popa da embarcação também são otimizadas, com a finalidade de obter-se melhor distribuição de velocidades (campo de esteira) na região de instalação do propulsor. Essa otimização é feita com alterações geométricas relativamente pequenas, mas que resultam em melhor distribuição de esteiras e que aumentam a eficiência do casco e a eficiência propulsiva, além de reduzir vibrações induzidas pelo propulsor e erosão devido à cavitação.

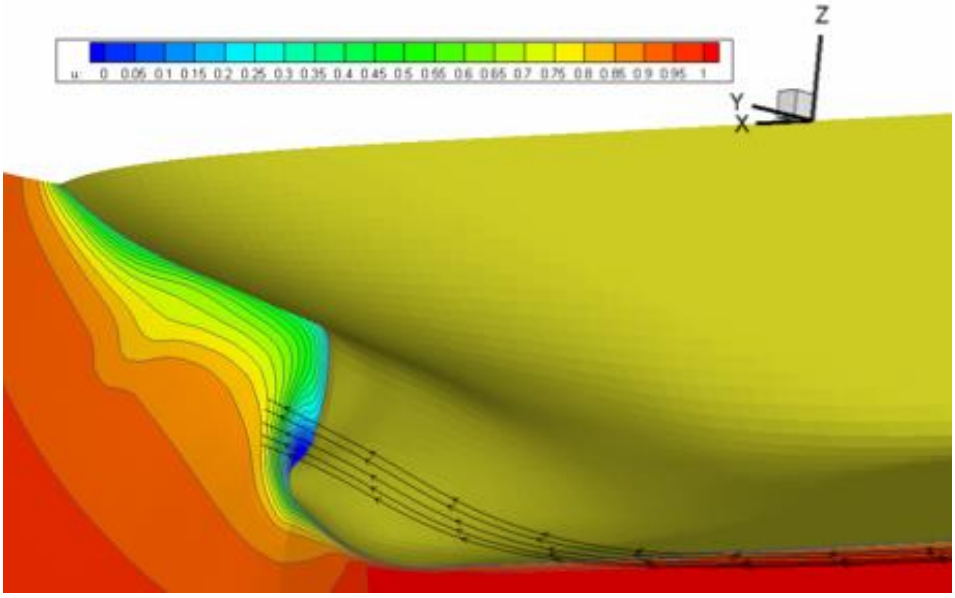
Logo, uma maior uniformização do escoamento na popa melhora a integração popa-propulsor-leme e evita os problemas relacionados com fenômenos intermitentes gerados no hélice e no leme. Abaixo se observa imagens que ilustram a otimização das linhas de popa.

Figura 4 - Ilustração antes da otimização das linhas de popa



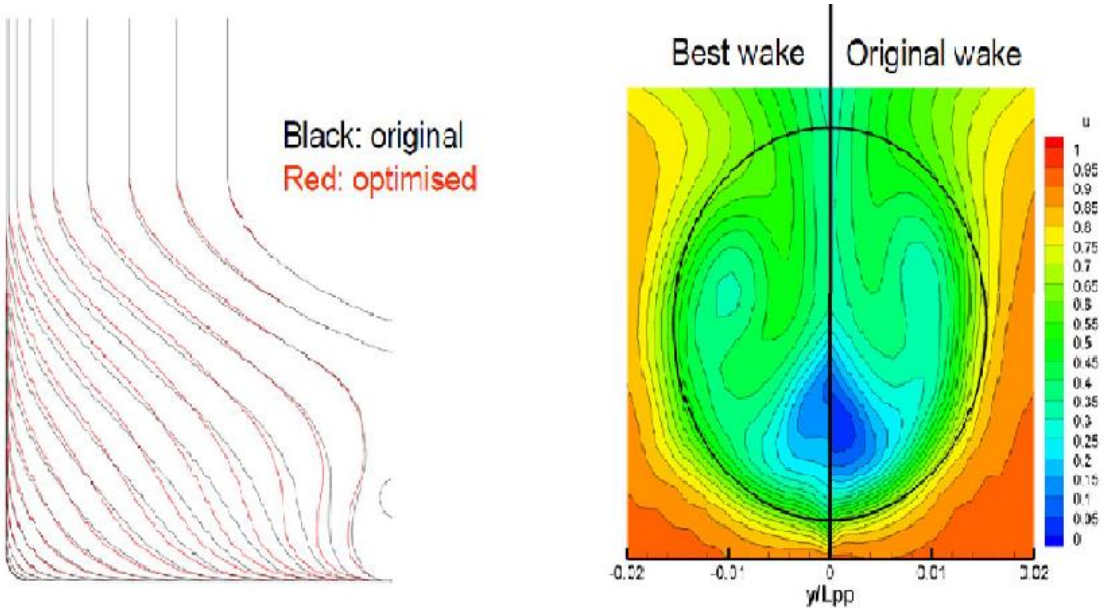
Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Figura 52 - Ilustração após a otimização das linhas de popa



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Figura 6 - otimização de popa de embarcação ao serem alteradas suas linhas de popa



Fonte: Chalmers University of Technology.

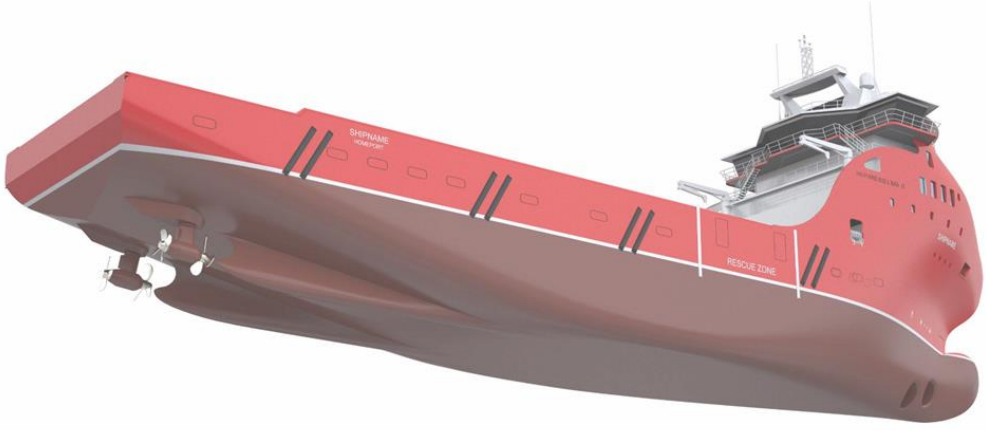
Nota-se na figura 6 a otimização de popa de um embarcação ao serem alteradas suas linhas de popa, na qual sua forma original está na cor preta e a forma alterada, na cor vermelha. O lado direito da figura representa distribuições de esteiras, original e otimizada. A indicação gráfica é de valores de (1-w).

3.1.4 Formato de casco

Outro problema que pode ocorrer são as irregularidades do casco. Cascos construídos com grandes imperfeições, apresentando irregularidades na sua superfície, podem ter aumento de resistência viscosa, anulando ganhos obtidos anteriormente com a otimização de formas e linhas. Dependendo do grau de irregularidade, há possibilidade de ocorrer um aumento de potência necessária de até 20% para viagem em uma dada velocidade.

Outro método que visa incrementar o formato do casco é o uso de skeg, uma configuração especial da popa no casco e pode ser definido como uma quilha central na popa que favorece a estabilidade direcional e é considerado um importante fator quando se navega em áreas com ondas e correntezas fortes. Ele protege os suportes e eixos de apoio do propulsor localizados na parte inferior do casco, além de fornecer proteção para outros aparelhos, como o aparelho de governo da embarcação.

Figura 7 - Ilustração de embarcação com skegs duplos



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Quando é utilizada a configuração de skegs duplos, além da proteção obtida, a área do arranjo entre eles é escavada, reduzindo sua área transversal e, portanto, sua resistência. Também provocam melhorias no escoamento da água, deixando o fluxo dela mais suave sobre a popa do casco e hélices. Tal característica é de fundamental importância, pois os hélices não funcionam bem quando submetidos a águas turbulentas, podendo ocasionar vibração excessiva e danificar a estrutura da embarcação.

Além disso, devido a essa configuração a performace hidrodinâmica da embarcação apresenta melhorias devido à eliminação da necessidade de apêndices (pés de galinha e sapatas) pelos navios que possuíam eixos duplos abertos, os quais comprometiam a eficiência da embarcação. Assim, a resistência de apêndices pode ser reduzida gerando um aumento de eficiência de 2 a 3%. Entretanto, apesar dos ganhos e da redução da resistência, o uso de skegs duplos significam adição de 4 a 5% de área à carena, maior peso de aço no casco e um custo mais elevado.

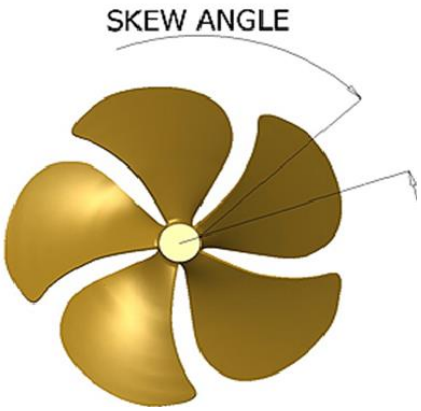
3.2 Otimização de propulsores

Dentre os métodos que podem ser adquiridos para aperfeiçoar os propulsores das embarcações, este trabalho visará o uso de skew.

A seleção de um hélice influencia as características de manobra, aceleração, velocidade máxima, economia de combustível e segurança. Assim, a seleção adequada do hélice combinada com o casco e o tipo de embarcação tem por finalidade obter tem excelente performace, mas se tal combinação não for feita corretamente resultará em consumo excessivo de combustível, despesas com reparos e baixa performace.

As características do hélice também são importantes e dentre elas encontra-se o skew, que pode ser definido como um “enviesamento” das pás do propulsor, ou seja, uma assimetria das pás em relação à linha geratriz. Essa assimetria suaviza a passagem das pás do nas regiões de diferentes velocidades em campos de esteiras, reduzindo as variações de pressão junto às pás.

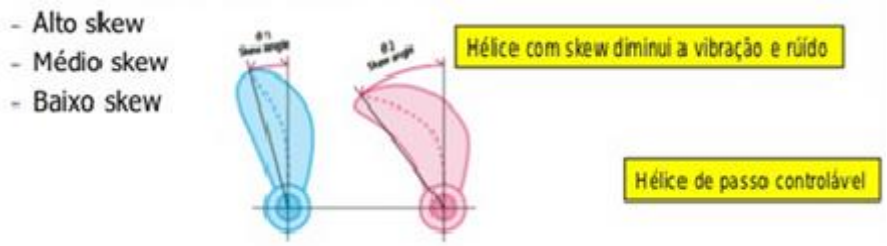
Figura 8 - Ilustração do skew de um hélice.



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

A vantagem de seu uso é a redução da cavitação intermitente, a qual provoca erosão, desbalanceamento e vibrações induzidas pelo propulsor. Uma pá com maior skew reduz a vibração da pá quando entra na água. A quantidade de pás também influencia na vibração do navio: quanto mais pás, menos vibração.

Figura 93 - Ilustração de skew apresentado nas pás



Fonte: www.slideshare.net/volpini/apresentao-nauticus-machinery

Em questões de eficiência, entretanto, tal característica não se apresenta vantajosa. A assimetria do hélice não introduz eficiência com o navio realizando navegação com máquinas avante. Entretanto, quando se faz a análise do navio realizando navegação com máquinas a ré e contendo hélices assimétricas, verifica-se redução de eficiência em relação à hélices os

quais não apresentam assimetria. Deste modo, o skew tem sido evitado no projeto de hélices para que não haja perda de eficiência.

4 SISTEMAS DE PROPULSÃO

O sistema de propulsão de um navio consiste em um conjunto de meios e sistemas tecnológicos projetados de modo conveniente com a finalidade de efetuar a propulsão da embarcação, superando satisfatoriamente os efeitos das pressões dinâmicas da água e das condições atmosféricas adversas ao avanço do navio, de modo a obter o melhor rendimento possível para a instalação propulsora e, consequentemente para o tipo de propulsão adotada. A preferência por um tipo de instalação propulsiva depende do tipo do navio e é feita através de uma comparação técnico-econômica entre as alternativas disponíveis, analisando variáveis como custos, consumos de combustível, ruídos, vibrações, eficiência energética, dentre outras.

4.1 Propulsão Mecânica ou Propulsão Convencional

Esse tipo de propulsão pode ser classificado em dois tipos: propulsão mecânica direta e propulsão mecânica indireta.

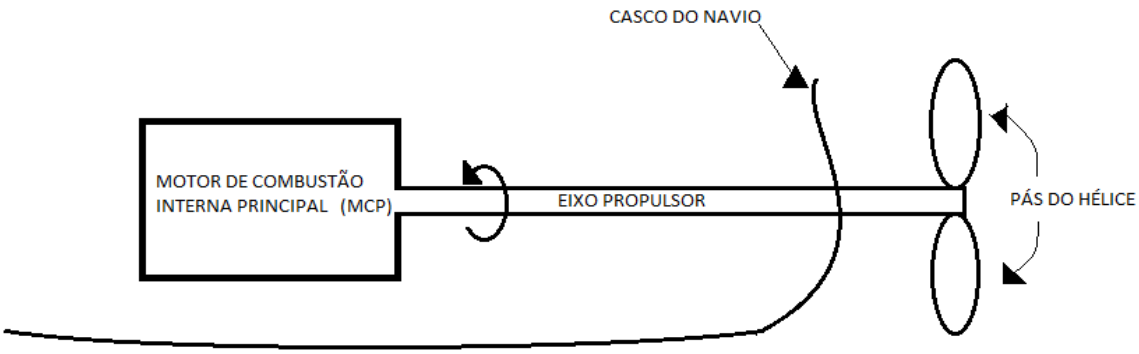
4.1.1 Propulsão mecânica direta

A propulsão mecânica direta ocorre quando o motor principal e o hélice acionado por ele operam com bom rendimento e com a mesma velocidade de rotação. Esse funcionamento se dá com o motor principal acionando diretamente a linha de eixo, cuja extremidade a ré está acoplada o propulsor da embarcação.

A propulsão direta consiste basicamente de três equipamentos: motor principal, linha de eixo e propulsores. O motor principal é um motor a diesel lento de 2 tempos, no qual a linha de veio é diretamente acoplada. A linha de veio ou de eixo atravessa um túnel via tubo telescópico e se conecta ao propulsor pela parte externa do casco na popa da embarcação. Os propulsores são de passo fixo ou passo variável.

Esse tipo de propulsão é utilizado quando o motor opera a baixa velocidade (entre 80 a 200 rpm) e o eixo propulsor roda à mesma velocidade que o motor, pois o propulsor suporta tal velocidade. Trata-se de uma configuração mais simples que a propulsão mecânica indireta, já que o uso de caixa de engrenagens redutoras de rotação é dispensado.

Figura 10 - Ilustração de sistema de propulsão mecânico direto



Fonte: www.jornalcanal16.com

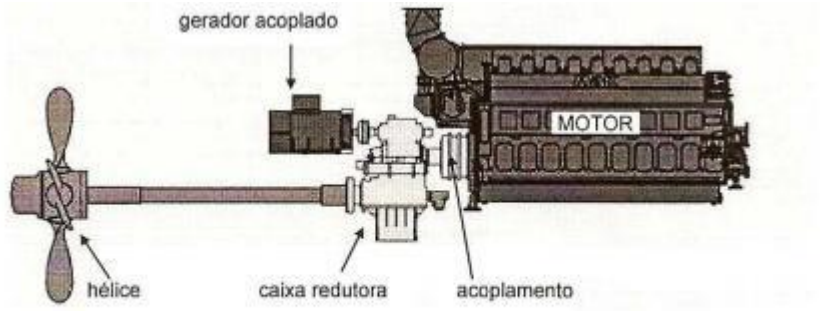
4.1.2 Propulsão mecânica indireta

A propulsão mecânica indireta consiste na operação da máquina principal da embarcação com um bom rendimento a uma velocidade de rotação superior à do hélice que é acionado por ela. Isso se dá pelo acionamento da linha de veios pela máquina principal utilizando uma caixa de engrenagens redutoras de rotação, a fim de que o hélice acoplado na extremidade a ré da linha de veios opere com bom rendimento, mas com uma velocidade de rotação mais baixa em relação à velocidade de rotação que a máquina possui. Ao imprimir uma velocidade de rotação do hélice menor, haverá menor probabilidade de ocorrência do efeito de cavitação e consequentemente, menor probabilidade do surgimento de ruídos que por ressonância podem causar avarias ao leme, hélice e outras partes da embarcação.

A propulsão indireta consiste basicamente de quatro equipamentos: máquina principal, caixa redutora de rotação, linha de veios e propulsor. A máquina principal a ser utilizada pode ser motores diesel a 2 tempos,, motores diesel a 4 tempos de média velocidade, turbinas a

vapor e turbinas a gás. Já os propulsores, ou hélices, utilizados normalmente são propulsores de passo variável. A caixa de engrenagens redutoras de rotação são constituídas por um conjunto de engrenagens redutoras de velocidade e têm como finalidade a redução da velocidade transmitida pelo motor ao eixo, obtendo uma rotação adequada ao hélice. Esse tipo de propulsão usando motor a diesel de 2 tempos, com regimes de 70 a 200 rpm, é muito utilizada nos navios de carga de grande porte, pois são requeridas elevadas potências.

Figura 11 – Ilustração de sistema de propulsão mecânica indireta



Propulsão Indirecta com motor de média velocidade, caixa redutora e gerador acoplado

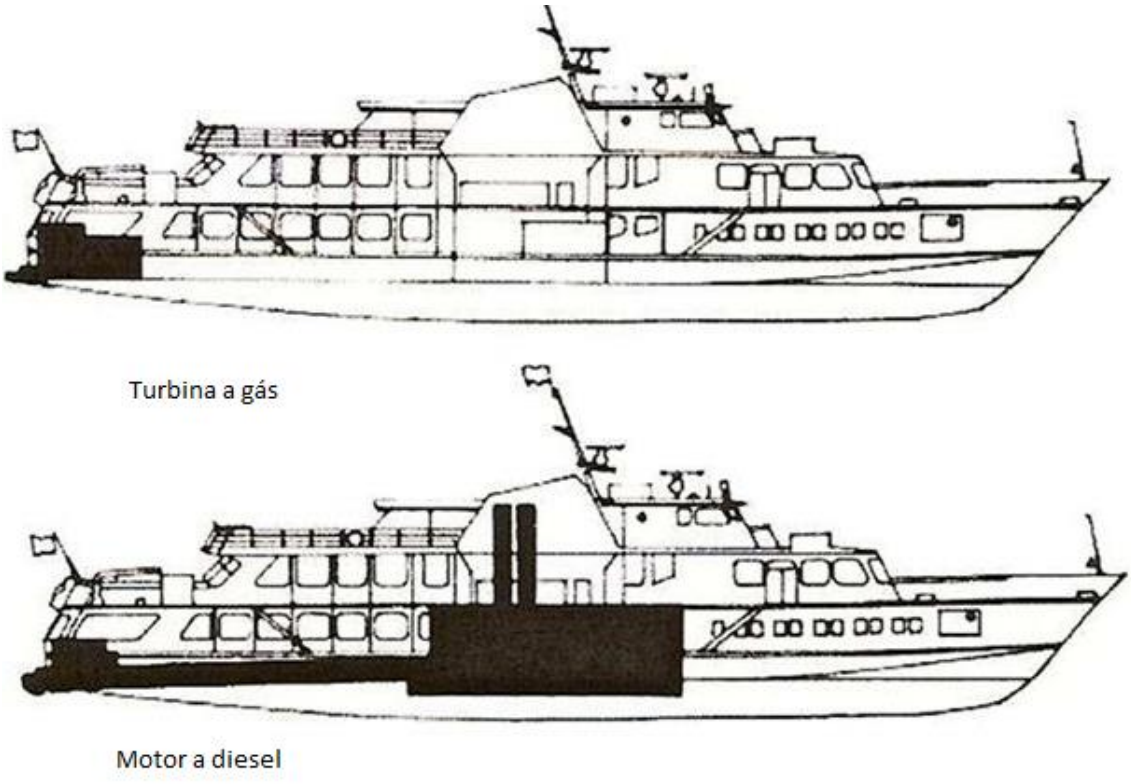
Fonte: Escola Superior de Náutica D. Henrique

4.1.3 Comparação entre as instalações propulsoras utilizadas

Para que seja possível a comparação entre os diversos tipos de instalações propulsoras, considera-se que a potência propulsora da embarcação seja superior a 25000 kW (aproximadamente 34000 CV).

1. Peso da instalação: numa ordem crescente de peso, temos a instalação que utiliza turbina a gás, seguida pela instalação que utiliza turbina a vapor. Finalmente, a considerada mais pesada é a que se utiliza motor a diesel.
2. Espaço ocupado pela instalação: os espaços ocupados pelas instalações que utilizam turbinas a vapor e motores a diesel semelhantes. Já a instalação que faz uso da turbina a gás utiliza um espaço menor, permitindo o aumento da capacidade de carga do navio em cerca de 13%.

Figura 12 - Comparação entre o espaço ocupado por uma turbina a gás e um motor a diesel



Fonte: Escola Superior de Náutica Infante D. Henrique

3. Número do pessoal utilizado na operação das instalações: Igual para os três modos de instalações propulsoras.

4. Preço do equipamento a ser utilizado: Igual para os três modos de instalações propulsoras. Entretanto, à medida que a potência propulsora diminui, há uma progressiva redução do custo da instalação propulsora com motor a diesel em comparação às instalações restantes.

5. Manutenção do Equipamento: A instalação que utiliza motor a diesel apresenta uma pequena desvantagem nesse quesito, devido aos maiores custos que ela apresenta para sua manutenção.

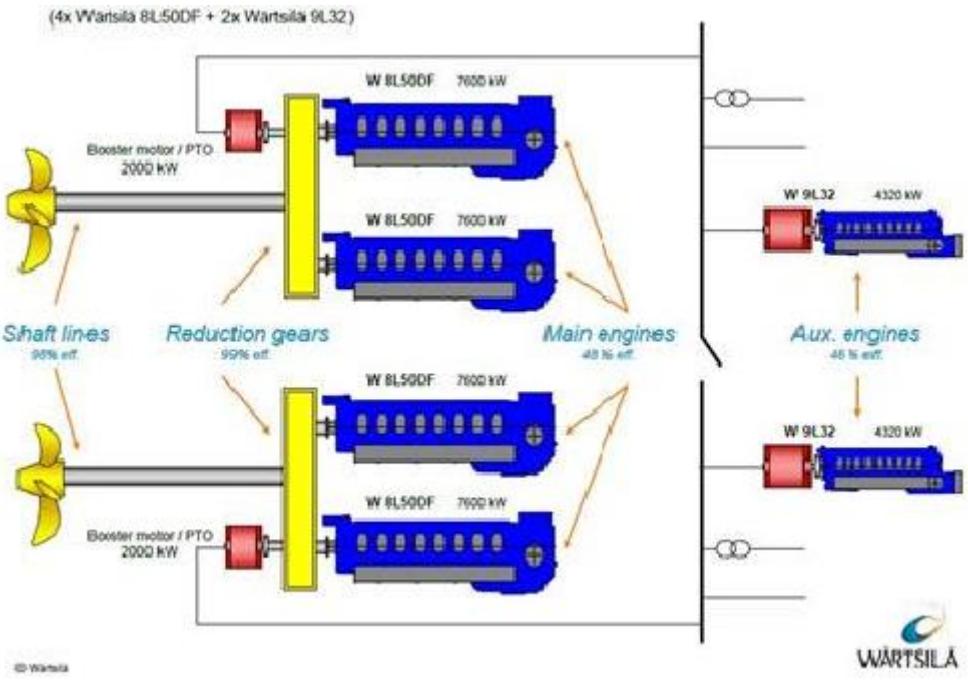
6. Consumo de combustível: Em uma ordem crescente de consumo e utilizando a mesma potência propulsora para os três casos, tem-se a instalação propulsora com motor a diesel, seguida pela instalação com turbinas a vapor. Por fim, temos a propulsão com turbina a gás, a qual apresenta maior consumo de combustível.

4.1.4 Sistema de propulsão de dois hélices e dois lemes

É possível utilizar nesses dois tipos de propulsão, duas linhas de eixo ao invés de apenas uma linha de eixo. Deste modo, a embarcação apresenta um sistema de dois hélices e dois lemes, cada um apresentando um motor de combustão principal, cada um com sua própria linha de eixo e propulsor, e depois de cada propulsor, um leme, sendo necessário que ambos equipamentos sejam iguais.

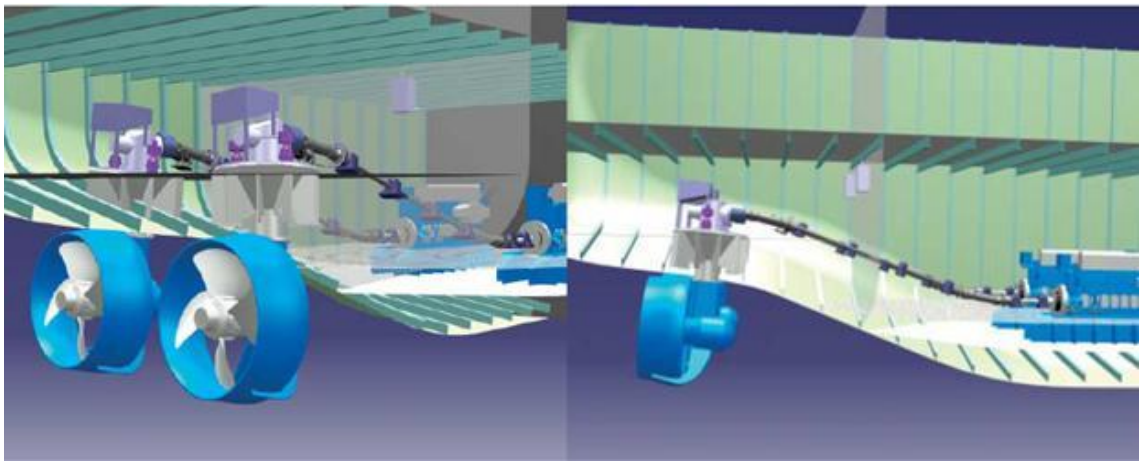
Os propulsores podem ser contra-rotativos, existindo um segundo propulsor que possui rotação no sentido contrário à rotação do propulsor principal. Consequentemente, a energia cinética perdida no movimento circular do escoamento é aproveitada. Além disso, a contra rotação é também uma forma adotada para obter-se o aumento da potência sem que isso implique no aumento do diâmetro do hélice e anule o efeito de torque nos motores de alta potência, do mesmo modo que os efeitos de precessão giroscópica.

Figura 13 - Sistema de dois hélices e dois lemes.



Fonte: www.wartsila.com

Figura 14 - Sistema de dois hélices e dois lemes



Fonte: www.oceanica.ufrj.br

As embarcações que utilizam esse sistema são embarcações que exigem maior manobrabilidade, como as embarcações supply, que não exigem muito de seu maquinário. Entretanto, quando as fainas da embarcação envolvem operações de reboque e manuseio de âncoras ou em águas profundas, os sistemas de governo e propulsão devem se apresentar os mais eficientes possíveis, utilizando recursos disponíveis, como: impelidores laterais de proa e popa, lemes independentes, tubo-Kort e hélice de passo variável.

Tal sistema também pode ser empregado quando a potência exigida pela embarcação é maior do que a qual o sistema que emprega configuração com eixo simples (apenas uma linha de eixo).

4.1.5 Vantagens e desvantagens da propulsão mecânica

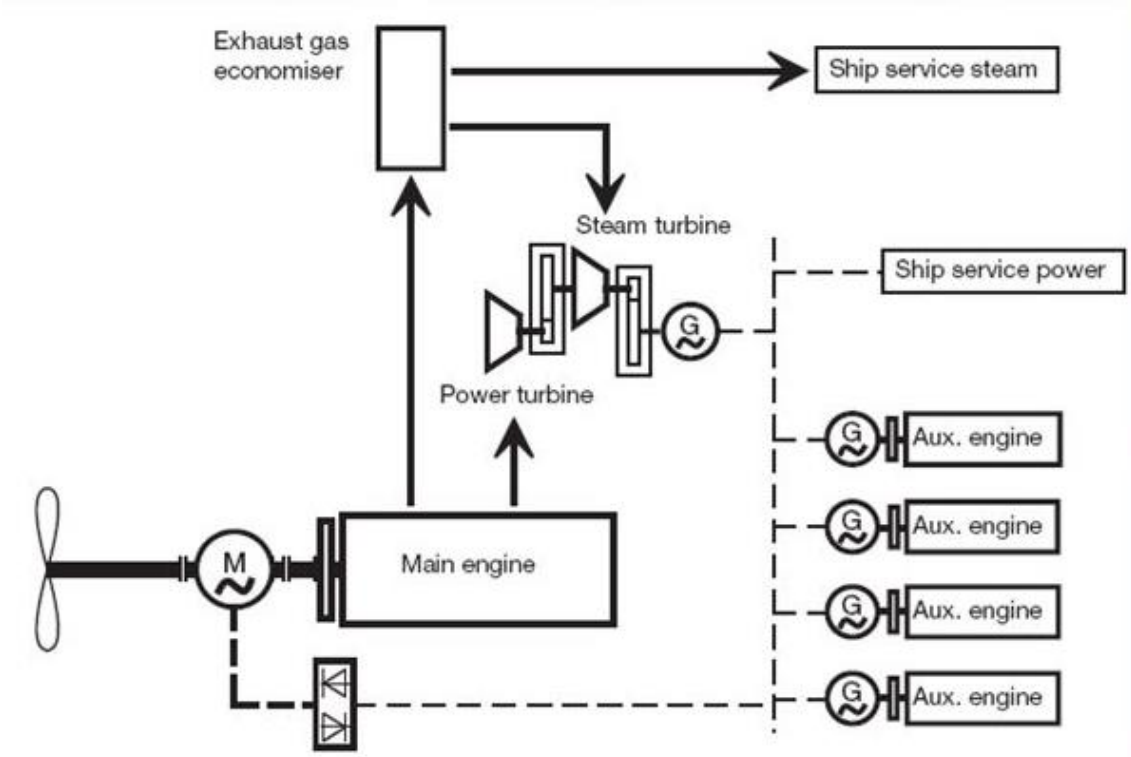
As vantagens observadas ao utilizar-se o sistema mecânico são:

1. Como o sistema de propulsão mecânica que utiliza motor a diesel é aquele que apresenta menor custo de funcionamento para maior parte dos navios mercantes, é atualmente usado é mais de 97% dos navios da frota mercante mundial.
2. O sistema de propulsão mecânica, tanto direta quanto indireta, permite o uso de um gerador de eixo acoplado à linha de eixo, aproveitando a rotação desta para a geração de

energia elétrica da embarcação. Entretanto, isso só é possível durante a navegação, evitando o funcionamento dos geradores diesel auxiliares. O funcionamento desses geradores ocorre geralmente quando a embarcação encontra-se em manobras, atracada ou navegando em mal tempo, por questões de segurança.

3. Quanto à propulsão mecânica direta, também há a vantagem da possível recuperação de energia. O motor de alta potência utilizado desprende gases de evacuação (gases quentes) que são direcionados para uma caldeira recuperativa, onde serão transformados em vapor, e em seguida passam uma turbina geradora/ turbina de potência, a qual será acionada por esses vapores e gerará energia elétrica para a embarcação.

Figura 15 - Representação do sistema recuperador de energia



Fonte: Escola Superior de Náutica Infante D. Henrique

Já o sistema de propulsão que utiliza o sistema com dois hélices e dois lemes apresenta inúmeras vantagens sobre o sistema que utiliza apenas um hélice e um leme. Temos a repartição do peso da instalação propulsora (diminuição do peso do hélice, o que gera muita inércia para a embarcação. Com a embarcação tendo dois ou mais hélices, cada um terá menor

peso e diminuirá a inércia), diminuição da possibilidade de trepidação, a curva de giro pode ser reduzida se os sentidos dos propulsores forem invertidos, é obtida a capacidade de mover a popa lateralmente, ou seja, boa manobrabilidade e redundância.

Também apresenta bom rendimento e melhor ação de leme. Neste caso, há a possibilidade de utilização de pés-de-galinha (para aqueles abertos) ou de skegs duplos. Quanto ao uso de pés de galinhas (sapatas), percebemos que a eficiência apresentada pelo navio passar a ser comprometida devido ao aumento da resistência de apêndices. Já a utilização do skeg duplo elimina qualquer necessidade de uso dos apêndices supracitado e, consequentemente, apresenta uma melhor performance hidrodinâmica da embarcação.

Como desvantagens apresentadas por esses tipos de sistema propulsor, observa-se o fato de ocupar muito espaço já que não há possibilidade de ser compartimentado, não havendo otimização do espaço da embarcação. Também nota-se o alto consumo de combustível e os altos custos de manutenção dos equipamentos. Os ruídos apresentados por esse tipo de sistema aumentam à medida que o tamanho da linha de eixo necessária aumenta já que a transmissão com uma grande distância precisa de mais eixos e mais caixas de engrenagens.

4.2 Propulsão Elétrica

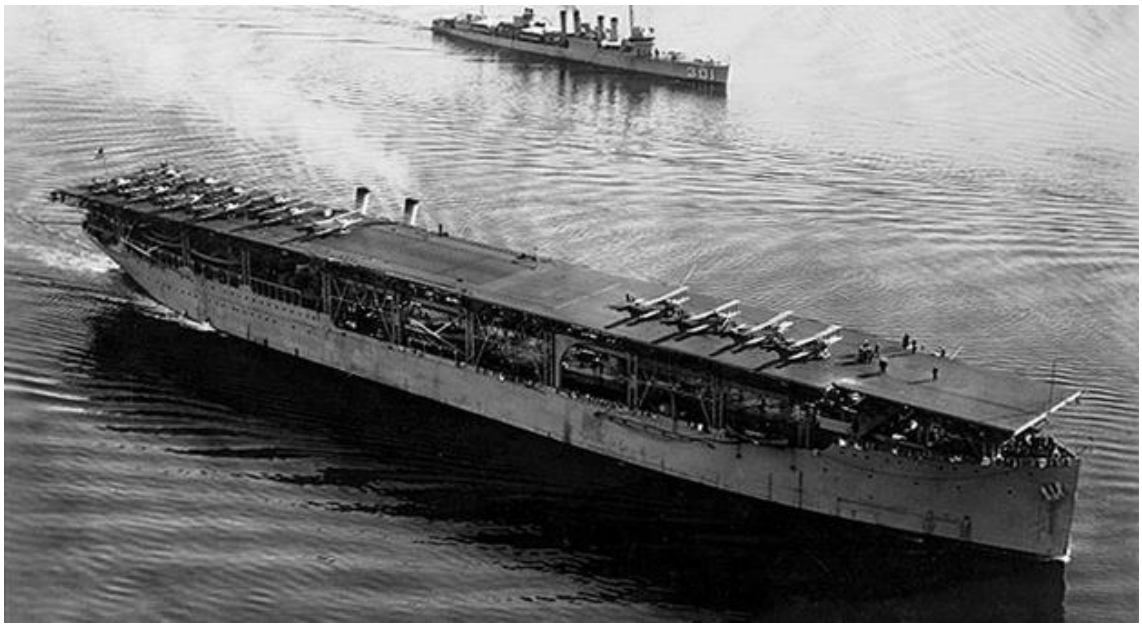
A propulsão elétrica naval teve seu início em 1914, quando o navio USS Jupiter foi o primeiro navio da marinha norte-americana movido à eletricidade com seus motores feitos pela empresa francesa Converteam. Cedeu espaço para a propulsão mecânica em meados de 1940 e voltou a ter seu espaço na década de 80 com o avanço da Eletrônica de Potência possibilitando o uso de acionamentos com velocidade variável em uma grande faixa de potências, sendo assim aplicada em larga escala a navios mercantes.

Atualmente, com a aquisição da Converteam pela GE em 2011, o conceito de navio elétrico foi conhecido mundialmente. Há mais de 70 navios com motores elétricos, dezenas de embarcações militares, além da utilização desses equipamentos pelo offshore e por navios gaseiros.

Os motores elétricos possuem como características a redução de combustível em até aproximadamente 10%, possuem um moderno sistema de controle eletrônico do motor diesel, incluindo a injeção de combustível, e suas peças são projetadas para que sua vida útil e

manutenção seja longa e rápida, respectivamente. Há motores elétricos desenvolvidos com capacidade para mover grandes embarcações, tanto cargueiros quanto transatlânticos, como o Queen Mary 2. Há vários tipo de propulsão elétrica a bordo das embarcações mais modernas, atendendo cada uma de acordo com seu projeto e para melhor desenvolvimento no quesito eficiência energética.

Figura 16 - Navio Americano USS Jupiter. Primeiro navio a usar sistema de propulsão elétrica



Fonte: www.brazil.geblogs.com/navios-movidos-a-eletricidade/

4.2.1 Propulsão Diesel-Elétrica

Numa solução diesel-elétrica para navios, a energia embarcada é garantida por geradores a diesel, mas a propulsão é elétrica, proporcionando uma economia significativa no consumo de combustível, maior flexibilidade operacional, redução da poluição ambiental e do tempo de docagem. É normalmente utilizada em embarcações nas quais características como alto grau de manobrabilidade e a necessidade do sistema de DP fazem com que a escolha de um sistema não convencional seja o melhor a ser utilizado.

Tal sistema de propulsão elétrica transforma o movimento mecânico gerado pelo próprio navio em energia elétrica, tornando as embarcações autossuficientes e por isso passou a ser um sistema de propulsão muito utilizado atualmente. O sistema consiste em diversos

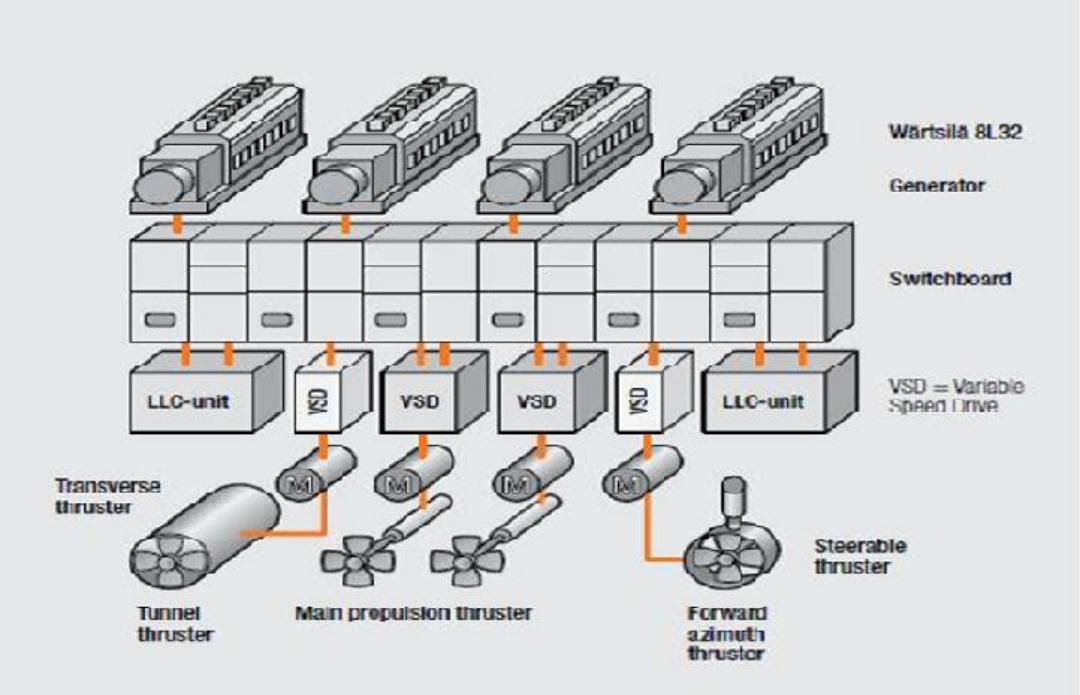
geradores de alta potência acionados por motores a diesel quatro tempos de velocidade média, os quais operam a uma velocidade média. Os geradores acionados por sua vez fornecem a eletricidade usada para os motores elétricos das transmissões principais e auxiliares.

Os geradores principais são acionados diretamente ou indiretamente, sendo a forma indireta por meio de uma caixa reversora. Os geradores são rígidos e os motores a diesel podem ser rígidos ou de montagem flexível. Os motores elétricos acionam sistema de propulsão principal, bem como as transmissões auxiliares, como a bomba de draga, bomba a jato e várias outras máquinas.

Figura 17 - Embarcação com sistema de propulsão diesel-elétrica

Fonte: www.wartsila.com

Figura 18 - Sistema de propulsão diesel-elétrica



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

As vantagens apresentadas pelo sistema diesel elétrico são:

1 Baixo ruído e vibração: unidades de propulsão elétrica são insuperáveis por apresentarem silenciosidade.

2 Operação econômica: o propulsor em uma velocidade reduzida permite que o número de geradores possam ser associados à energia demandada. Isso reflete particularmente no custo efetivo operacional, como uma maneira eficaz de fornecer cargas do gerador a diesel com baixa eficiência.

3 Configuração redundante: maior confiabilidade e disponibilidade pela configuração redundante do sistema de propulsão.

4 Capacidade máxima de carga útil: otimização do uso do espaço disponível por redução do volume e arranjo descentralizado de componentes do sistema de propulsão

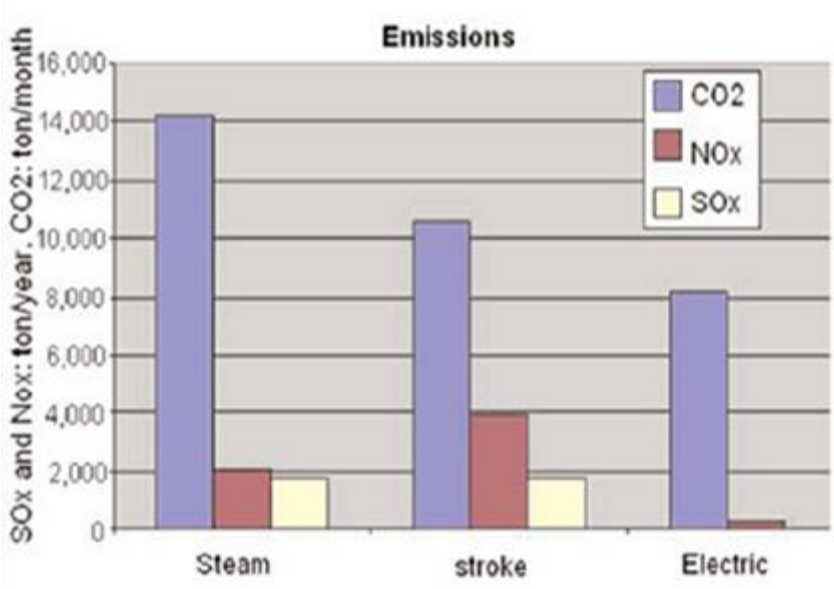
5 Utilização flexível: se necessária, a velocidade de torque característica é superior a dos torques que um hélice fixo apresenta: o hélice pode operar em todas as velocidades e torques dentro dos limites do design sem limitações.

6 Excelentes características dinâmicas: alterações na velocidade e inversões na manobra de posicionamento podem ser realizadas a uma velocidade ótima

7 Excelente qualidade de alimentação: não há interferências na rede elétrica causada pela inadmissível geração de harmônicos e queda de tensão

8 Redução de emissões: redução de emissões de substâncias NOx, CO_2, hidrocarboneto e fuligem, bem como a redução do consumo de combustível pelos motores diesel em funcionamento com velocidade constante na faixa de operação ideal, também em funcionamento parcial do sistema propulsivo.

Figura 19 - Gráfico comparando a quantidade de gases poluentes emitidos pelos sistemas de propulsão



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

9 Alto grau de automação: todas as unidades de propulsão podem ser controladas automaticamente por um sistema de navegação do navio e de comando superior, ou manualmente a partir de qualquer console. Todas as funções e estados operacionais são monitorados para evitar erros operacionais e sobrecargas

10 Redução do desgaste e quebra das peças: redução de despesas de manutenção e da demanda de peças de reposição em relação a navios diesel mecânicos que funcionam com número reduzido de motores diesel com velocidade constante. Como resultado destas características, sistemas de propulsão elétrica são usados especialmente para navios de cruzeiro, ferries, camadas de cabos e tubos, navios de pesquisa, quebra-gelos, navios

multipurpose, navios-patrulha, supply e embarcações de resgate, bem como para os navios gaseiros (LNG).

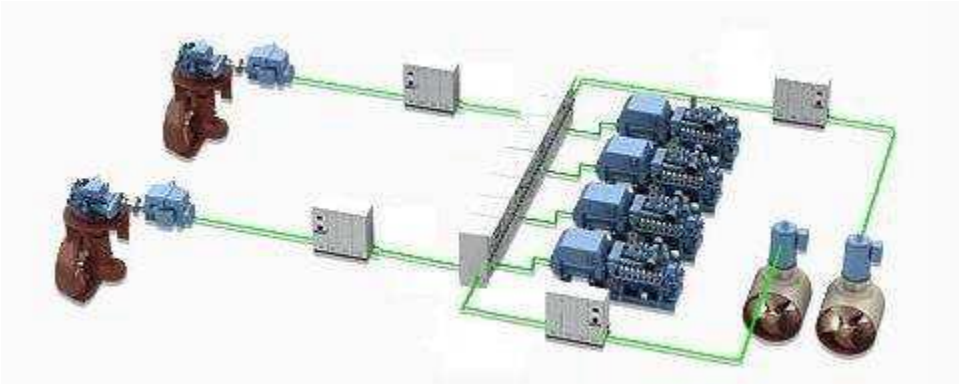
Contudo, como qualquer outro sistema de propulsão, o sistema diesel-elétrico possui algumas desvantagens:

1 Aumento da quantidade e complexidade da eletrônica embarcada nas máquinas, o que requer maior controle e supervisão;

2 Desenvolvimento de conversores de frequência: necessário o acionamento dos motores elétricos com baixa distorção harmônica (TDH);

3 Aumento da complexidade dos sistemas de supervisão e controle da planta de propulsão- grande quantidade de pontos (sinais).

Figura 20 - Sistema de propulsão diesel-elétrica



Fonte

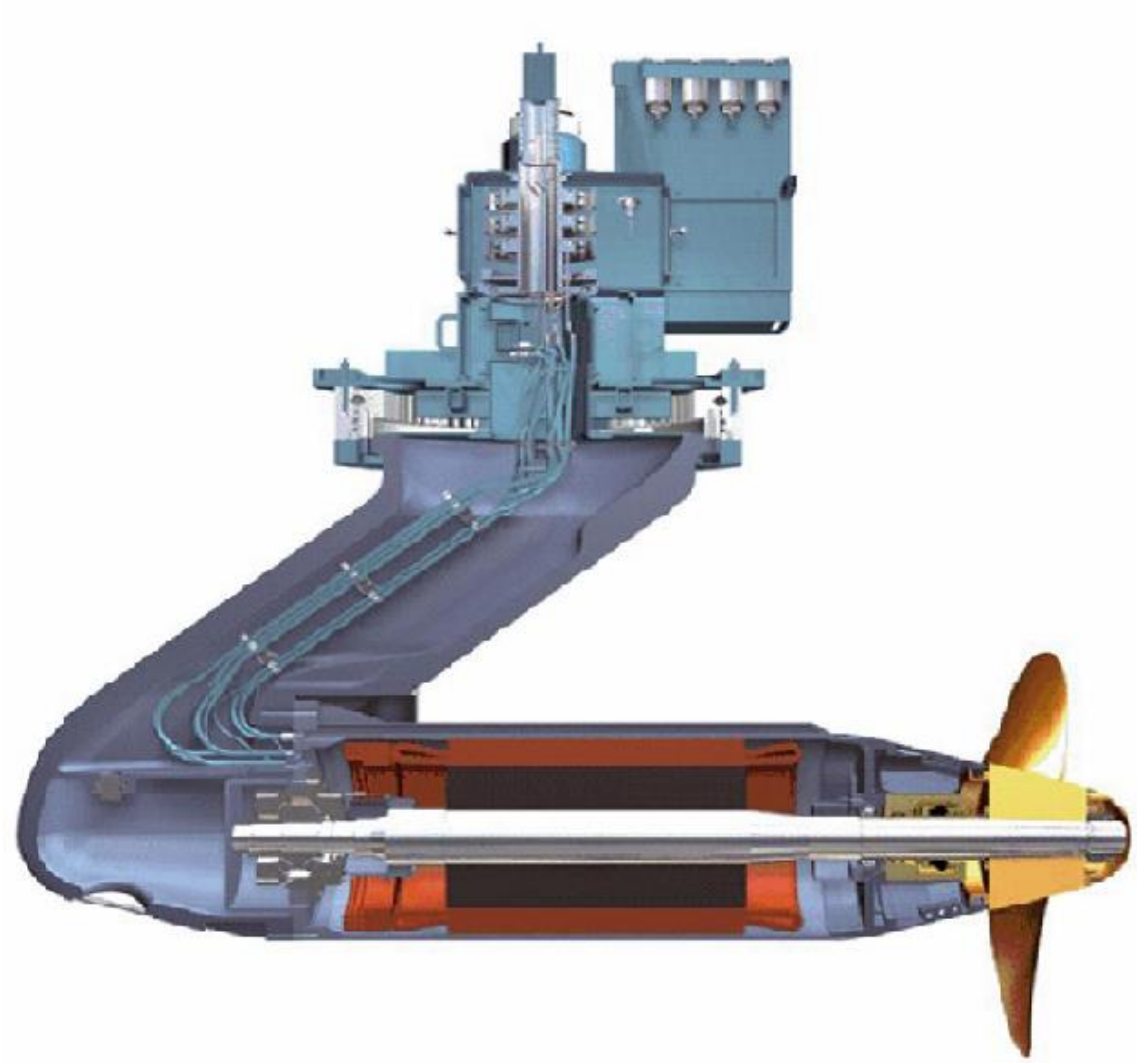
4.2.2 Propulsão Azimutal

Trata-se de uma propulsão elétrica que surgiu no início da década de 1990. No sistema azimutal ou sistema azipod, o sistema propulsor e o sistema de governo estão acoplados em uma única estrutura, formando uma unidade de propulsão elétrica (azipod ou pod), posicionada exteriormente e abaixo do casco a ré do navio.

O pod é constituído por um motor elétrico localizado no pod fechado e conectado ao propulsor, sendo a perfeita vedação da conexão de extrema importância, pois ao contrário há possibilidade de danificação de todo o motor e dificultar a manobrabilidade.

Os motores elétricos utilizados nessa unidade apresentam frequência elétrica variada, fato que permite o controle da velocidade rotacional do propulsor, o qual apresenta a capacidade de orientação para qualquer direção em torno de um eixo vertical, ou seja, gira em torno de um eixo vertical com amplitude de 360 graus. Sua direção é hidráulica e como o fluxo de água da propulsão é direcionado pelo azipod, dispensa o uso de lemes, os quais teoricamente permitem por si só o deslocamento da embarcação em todas as direções.

Figura 21 - Unidade Pod



Fonte: www.marineinsight.com

O sistema azipod contêm três equipamentos fundamentais para seu funcionamento:

1 Transformador

O transformador tem como finalidade reduzir a alta energia produzida por geradores, aproximandamente 6600 KV, para a tensão necessária, podendo ser fornecida ao motor localizado na cápsula do pod.

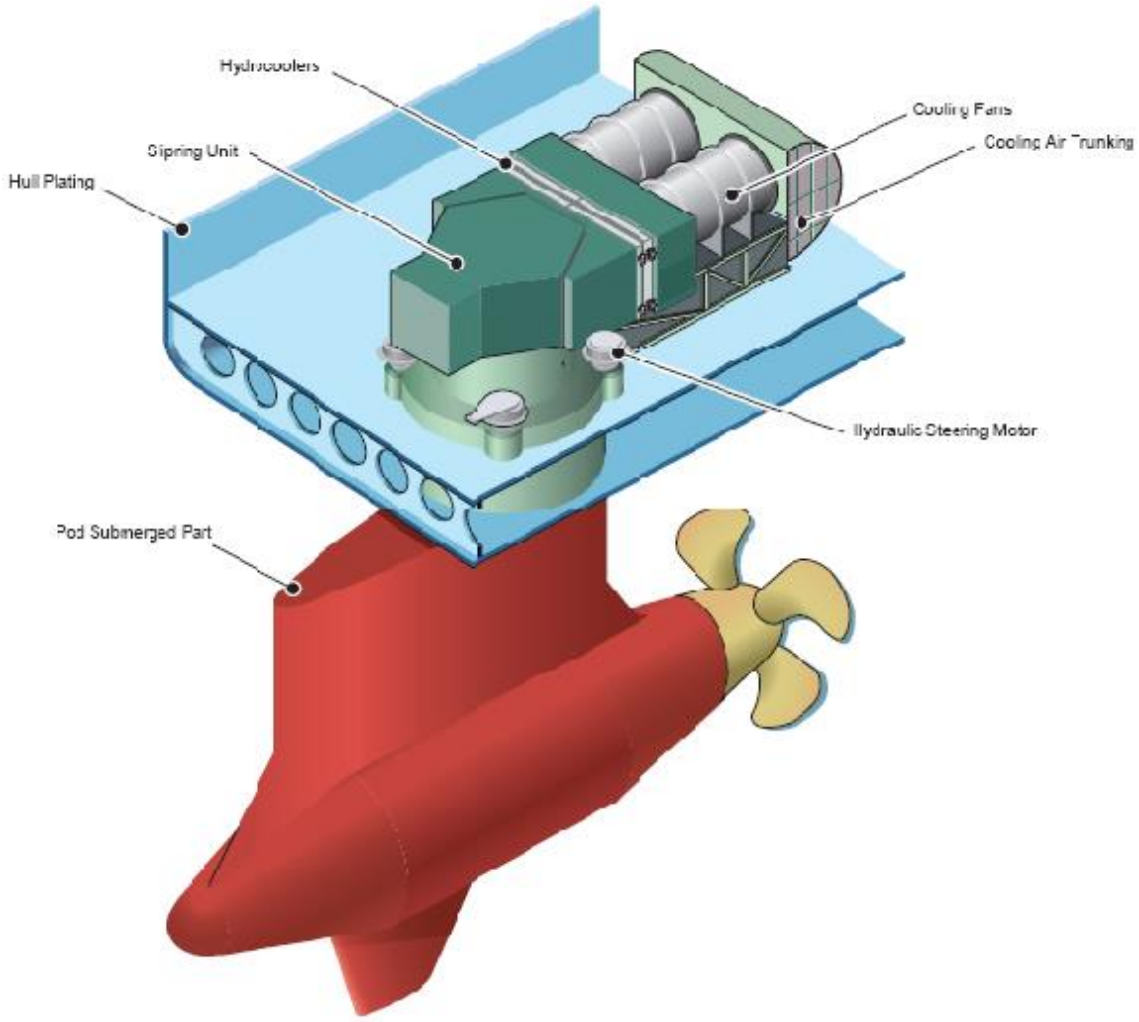
2 Motor de Propulsão

O motor de propulsão é utilizado para conduzir ou para produzir empuxo. O sistema precisa de uma maneira para rotacionar o hélice e isso é realizado através de um motor elétrico.

3 Controlador de frequência / conversor

É usado para alterar a frequência da energia fornecida pelo motor, com a finalidade de controlar a velocidade de rotação do propulsor.

Figura 22 - Representação de uma unidade Pod com seus respectivos componentes



Fonte: www.marineinsight.com

Observa-se que o tubo de apoio do Pod possui formato de leme e assim pode efetuar a mesma função que este efetuaria, dispensando seu uso. As vantagens de um sistema azimutal são:

1 Melhor manobrabilidade, pois o hélice pode ser orientado para todas as direções. Deste modo um melhor resultado é obtido nas manobras de "crash manouvering", ou seja, a distância percorrida entre o momento de mudança, de toda a força avante para toda a força a ré, e a parada total da embarcação é menor se comparada às embarcações que utilizam o sistema convencional.

2 Maior estabilidade. No caso dos navios de grande boca, dois ou mais Azipods, independentes uns dos outros, podem ser utilizados. Isso proporciona manobras mais sutis. Neste caso, os hélices operam em contra-rotação. A contra rotação pode ser obtida ao combinarmos um propulsor tipo Azipod, operando frente a um propulsor convencional. As vantagens apresentadas ao utilizar essa operação são: hélices contra rotativas eliminam as perdas rotacionais, não produzem forças laterais e minimizam a cavitação; a área aumentada das pás permite a utilização de relações de engrenagem maiores; mais energia pode ser transmitida para um dado raio de hélice. Já as desvantagens são: instalação mecânica de eixos coaxiais de contra rotação é complicada, cara e requer mais manutenção; e os ganhos hidrodinâmicos são parcialmente reduzidos em perdas mecânicas nos eixos.

3 O sistema economiza muito espaço na sala de máquinas, pois não há motor, hélice, shafting e outros arranjos. Deste modo, o espaço pode usado para outros fins.

4 Perdas de potência nas caixas redutoras de rotação e nas linhas de eixo são eliminadas.

5 O sistema pode ser colocado abaixo da altura do navio, proporcionando assim uma maior eficiência do que o sistema convencional.

6 Uso de propulsores laterais (thrusters) é eliminado já que o Pod pode ser usado no lugar deles.

7 Proporciona baixo ruído e menor vibração do que o sistema convencional.

8 Baixo consumo de combustível (redução média de 15%) e de óleo lubrificante;

9 Sistema é favorável ao meio ambiente, pois o nível de emissões de poluentes é extremamente baixo (emissão de CO_2 reduzida).

Já as desvantagens que podem ser citadas são:

1 O Sistema Azipod requer alto custo inicial.

2 É necessário um grande número de geradores diesel para a produção de energia.

3 Existe um limite para a energia produzida pelo motor. Atualmente a potência máxima disponível é de 21 MW.

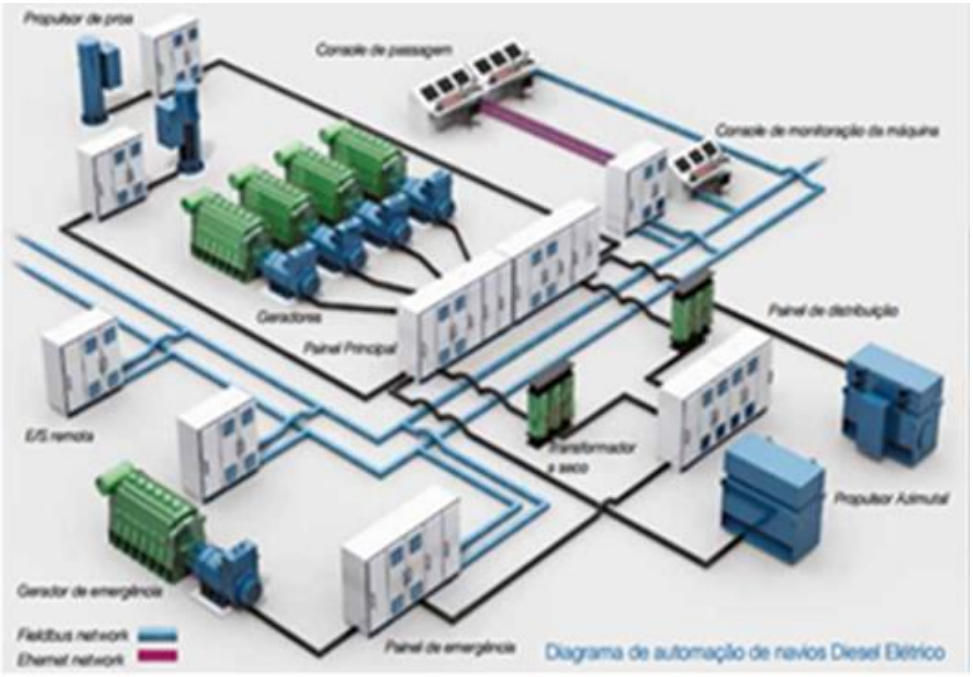
4 Não pode ser instalado em grandes navios transportando carga pesada, pois eles necessitam de uma grande quantidade de energia e grandes motores.

5 Como a unidade inteira encontra-se exteriormente ao casco da embarcação, fica propícia à colisão com objetos submersos, podendo danificar sua estrutura.

6 Caso passe por alguma rede de pesca, esta pode ficar presa ao pod, danificando a unidade propulsora.

7 O menor problema apresentado dentro do Pod requere drydocking.

Figura 23 - Propulsão diesel elétrica com propulsores azimutais



Fonte: www.oceanica.ufrj.br

4.2.3 Propulsão por ímãs permanentes

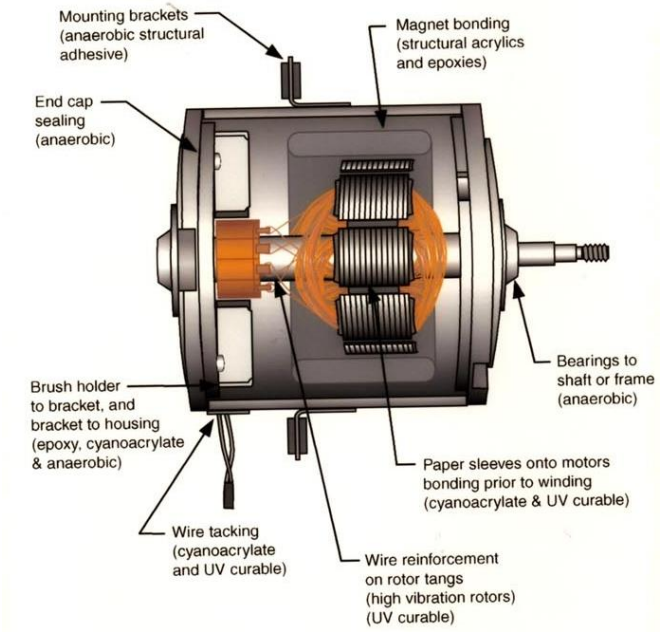
Em 1970 foi descoberta a disponibilidade de alta energia nos ímãs de terras raras de Samário-Cobalto (SmCo) e em 1983, nos ímãs de Neiodímio-Ferro-Boro (NdFeB). As descobertas juntamente com avanço de pesquisas permitiu um grande avanço na tecnologia e

no desempenho das máquinas de ímãs permanentes. O motor elétrico de imãs permanentes, ou motor PM, há algum tempo vem tornando-se uma alternativa real e possível para solucionar problemas específicos os quais são presenciados nos demais motores elétricos e por isso apresentam maiores vantagens, especialmente no que se refere ao peso por potência instalada, densidade de energia e volume limitado. Tais motores se tratam de motores elétricos que utilizam uma combinação de campos magnéticos de natureza permanente (ímãs) e campos magnéticos induzidos que são produzidos por uma corrente de excitação externa que flui através dos enrolamentos do estator.

Podem ser ativados tanto com sinais elétricos contínuos quanto alternados, mas é importante notar que aplicações de motores de corrente alternada são mais utilizados e eficientes em termos de disponibilidade de conversão de energia e manutenção. Em geral, podemos afirmar que os motores elétricos apresentam maior tamanho, maior peso e maior custo do que um sistema mecânico. Entretanto, com o advento dos motores PM tem sido possível a diminuição dessas desvantagens.

O princípio básico que os motores de ímãs permanentes seguem é a produção de um campo magnético estacionário pela corrente de campo, assim como as correntes circulares no estator do motor produzirão um campo magnético girante. Desta maneira, existem dois campos presentes no motor e o campo do rotor tenderá a se alinhar com o campo do estator à medida que este gira. Logo, para a produção do torque em um desses motores, o fluxo do rotor, devido ao ímã, e a força magneto motriz do estator, advinda das correntes as quais circulam nos enrolamentos deste, devem estar estacionários entre si, apresentando mesma velocidade angular, mas apresentando defasagem diferente de zero.

Figura 24 - Motor síncrono de ímãs permanentes



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

Podemos citar como vantagens de um motor de ímãs permanentes:

1 A eficiência do motor PM é maior que a de um motor síncrono de indução. Não são necessários os enrolamentos do motor já que o fluxo criado por ímãs permanentes de corrente contínua são de igual potência, umas vez que as perdas são muito baixas ao não contar com enrolamento do campo.

2 A refrigeração do motor se simplifica, uma vez que não é requerido o arrefecimento do rotor. A faixa de operação do estator pode ser aumentada devido à redução das perdas totais e aumentando a eficiência de água de arrefecimento.

3 É possível construir motores com diâmetros maiores que permitam desenvolver alto torque em baixas rotações sem considerar um aumento peso, situação oposta ao que aconteceria em uma máquina síncrona convencional com enrolamento de campo. A obtenção de baixas rotações é especialmente importante para onde se queira diminuir os efeitos de cavitação do hélice.

4 Grande ajustabilidade sobre 100% da velocidade nominal, tanto avante quanto a ré.

5 Não há nenhuma mudança na configuração das margens de baterias como é no caso de motores de corrente contínua, evitando o ruído dos contatores que este implica.

6 Maior eficiência

7 Menor peso e tamanho para uma mesma potência instalada (cerca de 50%)

8 Alta redundância interna

9 Sistemas de controle de comutação podem ser alojados em áreas pequenas.

10 Propicia melhor manobrabilidade

11 Requere menor manutenção

12 Redução dos picos de torque

13 Sistemas operacionais simplificados

14 Facilidade para remover o calor gerado pelas perdas devido às correntes do estator.

O aspecto mais notável do motor de ímãs permanentes quanto à eficiência do motor são as perdas devido à excitação de campo e do arrefecimento em comparação com outros motores atualmente utilizados na propulsão de embarcações. Além disso, deve notar-se que o peso e tamanho desses motores são substancialmente menores de modo que suas vantagens passam a ser algo relevante e categórico. Contudo, tais motores também possuem suas desvantagens:

1 O motor alimentado por uma fonte de corrente contínua requer um dispositivo inversor, pois sua operação síncrona requer excitação de corrente alternada. Isso os torna dependentes de uma grande quantidade de componentes eletrônicos de potência que devem atender aos requisitos de potência necessários. Um número elevado elementos aumenta significativamente a taxa de falhas.

2 A inversão de corrente contínua para alternada implica necessariamente na introdução de um alto conteúdo harmônico em sinais elétricos de excitação que por sua natureza não são desejáveis e são altamente prejudiciais na conversão de energia, eficiência e qualidade de serviço. Os harmônicos geram torques e ruídos perfeitamente detectáveis e audíveis. Assim, é necessário o estabelecimento de técnicas de controle para minimizar os efeitos prejudiciais.

3 A perda de fluxo dos imãs é factível. Deve-se ter atenção especial com as temperaturas de operação do motor, como também determinar os pontos de operação nas características B-H para ímãs para evitar a desmagnetização que se ocorrer seria algo irreversível.

4 Deve ter sensores e dispositivos de realimentação e de proteção tanto para o funcionamento normal quanto para as eventuais falhas que poderiam ocorrer, especialmente um curto-circuito de uma fase.

4.2.4 Sistemas Híbridos

O sistema híbrido é também conhecido como sistema Diesel-Elétrico-Mecânico ou sistema DEM. Este sistema é uma das opções na qual há um aumento de eficiência sobre um maior espectro operacional e tornou-se uma propulsão alternativa para os navios cujo perfil operacional alterne momentos de alta e de baixa demanda de potência propulsiva e para embarcações que precisem de grande redundância de propulsão, nas quais a propulsão diesel-elétrica não apresenta grande eficiência, e para embarcações que possuam mais de um perfil operacional distinto. O sistema híbrido é considerado uma solução para tais navios cujos perfis operacionais diversificados apresentam grande desperdício de energia.

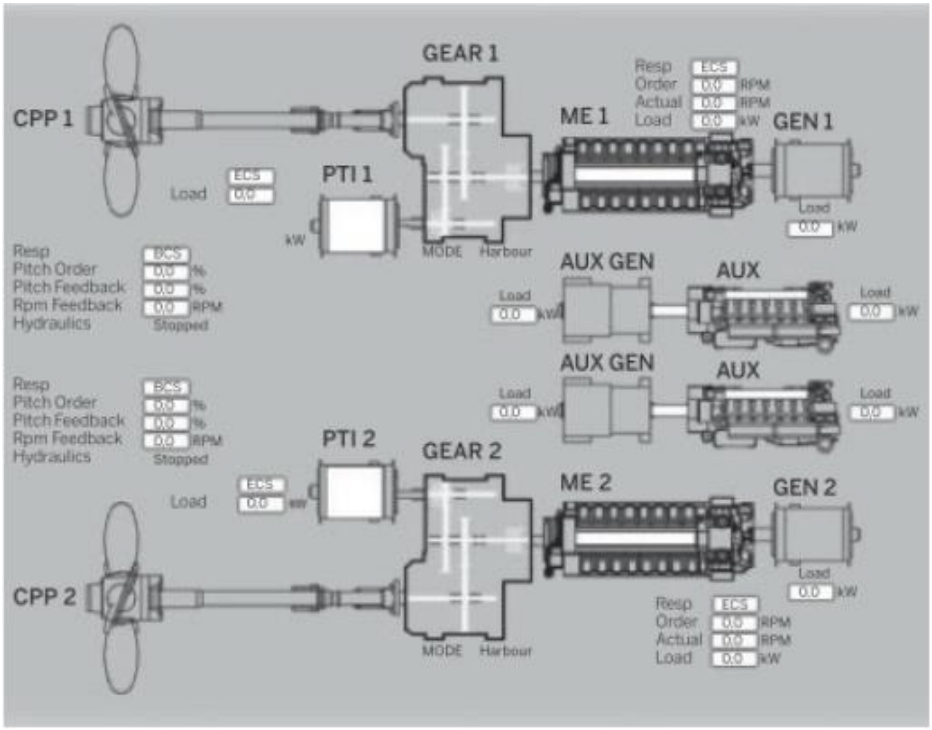
Esse sistema é caracterizado por uma mescla dos dois sistemas citados anteriormente, juntando as melhores qualidades do diesel mecânico com o diesel elétrico, possibilitando à embarcação operar de forma eficiente em um cenário relativamente complexo, evitando assim o consumo excessivo de combustível em embarcações com perfis operacionais com atividades distintas, os quais exigem diferentes níveis de energia.

É sabido que apenas a utilização sistema de propulsão diesel-elétrica resulta em perdas relativas às múltiplas transformações de energia no sistema (mecânica para elétrica, depois mecânica novamente) da ordem de 10% na condição de navegação, mas estas perdas são tidas como efeito colateral da solução, que sem dúvida é a melhor e mais confiável para embarcações que operem por longos períodos em regime de posicionamento dinâmico. O sistema possui parte mecânica, com motores a diesel, caixas redutoras, geradores de eixo, e parte elétrica, com motores elétricos, além de geradores auxiliares necessários pra suprir a demanda elétrica da embarcação juntamente com geradores de eixo.

Assim, o sistema será composto por duas linhas de eixo, com cada uma delas possuindo um propulsor de passo controlável e uma caixa redutora. Há duas entradas para esta caixa redutora, uma com um motor diesel (MCP), e outra com um motor elétrico. Há ainda um gerador de eixo ligado diretamente ao motor principal e geradores auxiliares (MCA), responsáveis pela geração de energia nas diferentes operações da embarcação. O sistema, quando a embarcação está em trânsito, opera uma propulsão mecânica acionada através de uma única linha de eixo e caixa redutora. Quando em posicionamento dinâmico a caixa redutora é desacoplada e os motores a diesel passam a acionar geradores de eixo, com o navio mantendo posição através de impelidores laterais (thrusters) retráteis e de túnel acionados por motores elétricos.

.

Figura 25 - Equipamentos de um sistema híbrido



Fonte: www.wartsila.com

Em princípio, a embarcação com Sistema Propulsivo Híbrido pode ser operada de três maneiras:

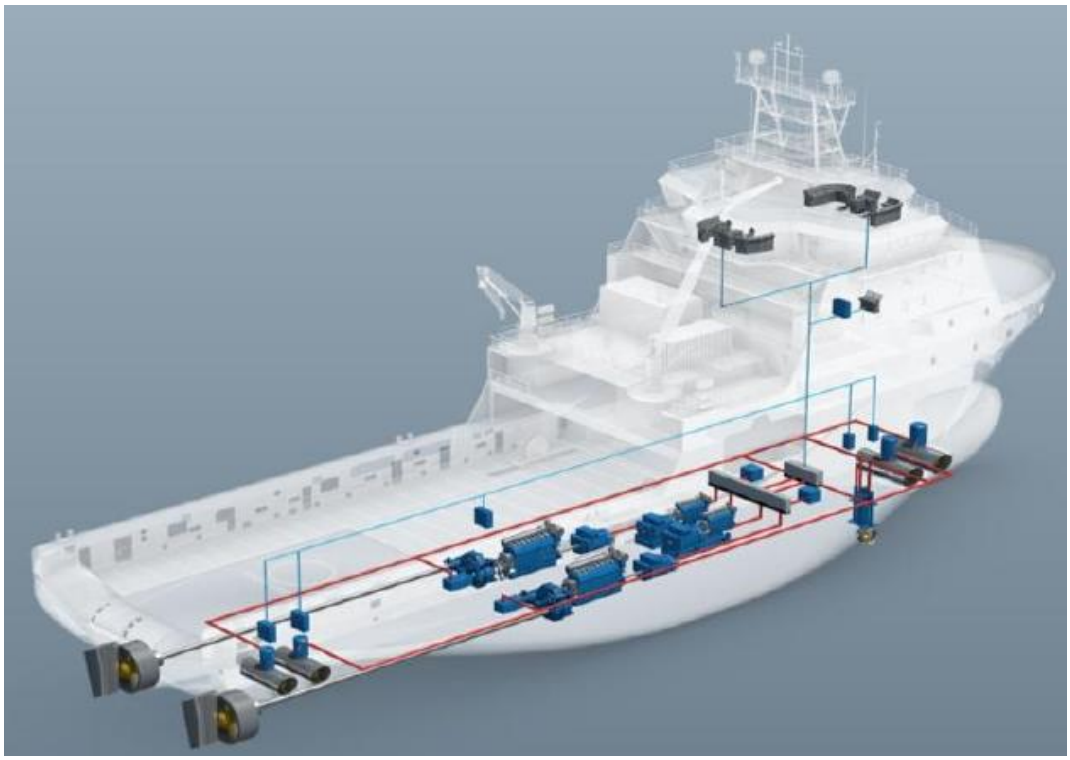
1 Propulsão elétrica pura para manobras de baixa velocidade, trânsito e DP;

2 Propulsão mecânica pura para operações de reboque e trânsito de alta velocidade;

3 Propulsão elétrica e mecânica híbrida, onde equipamentos elétricos podem ser utilizados como um "reforço" para o sistema de propulsão mecânica no intuito de atingir os requisitos de tração estática.

Na navegação comercial um tipo de sistema híbrido já vem sendo utilizado em algumas embarcações especiais como aquelas que necessitam notação de classe de Propulsão Redundante, como forma de dispositivo emergencial de propulsão e governo (*take-mehome*), onde os grupos geradores de bordo podem alimentar a propulsão principal através da inversão do gerador de eixo, que passa a atuar como motor elétrico.

Figura 26 - Embarcação com sistema de propulsão híbrido



Fonte: GERK, HERMANN REGAZZI. Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio

As vantagens apresentadas pelo sistema híbrido são:

1 Versatilidade na geração de energia, atendendo todas as faixas de consumo, dentro das faixas de operação dos Motores e Geradores do sistema. A consequência ao trabalhar a maior parte do tempo dentro da faixa de operação de projeto dos motores e geradores é obter maior eficiência energética e economia de combustível.

2 Custos de construção adicionais eram mais baixos quando comparados com os benefícios gerados, como a economia de combustível inerente a esse sistema.

3 Grande potencial de utilização especialmente devido à maior disseminação de sistemas de controle eletrônico embarcados. Por ser um sistema intermediário entre a propulsão diesel-mecânica e a propulsão diesel-elétrica, o sistema híbrido combina os benefícios de cada um dos dois tipos de forma a trabalhar sempre com a maior eficiência possível.

4 Possibilidade de se operar em modos de geração ou utilização de potência de forma distinta ou combinada, que podem ser utilizados normalmente; ou seja, sem que seja uma operação de emergência.

5 Consumo de combustível em navegação chega a ser 25% menor. Contudo, o ganho de 25% deve ser tomado como resultado de todas as modificações apresentadas pela embarcação ao se utilizar ao sistema e não apenas do sistema em si.

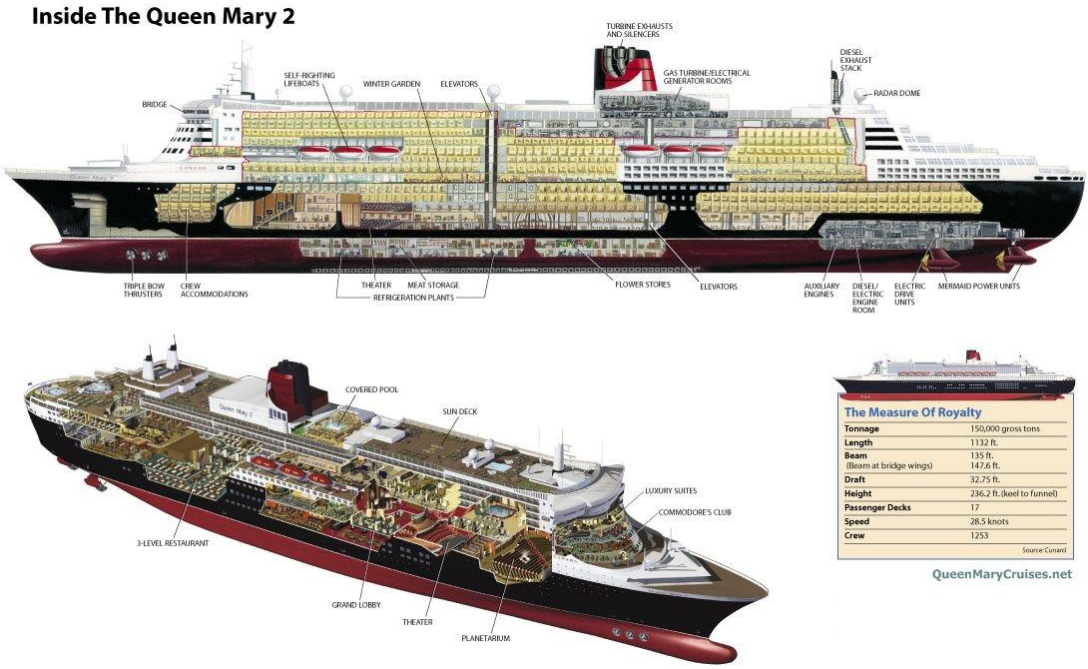
5 ESTUDOS DE CASO

Alguns navios modernos podem ser citados e comparados por apresentarem aspectos que aumentaram sua eficiência energética, adquirindo novas características hidrodinâmicas ou sistemas propulsivos modernos. É o caso do navio de cruzeiro Queen Mary 2, STX e Maersk Triple E.

5.1 Navio Queen Mary 2

O navio de passageiros Queen Mary 2 é tido como referência entre os navios modernos e teve máxima importância no que diz respeito ao funcionamento da instalação elétrica. O proposto foi uma configuração diesel e gás combinada (CDDAG) baseada em duas turbinas de gás situadas numa câmara de turbinas elétricas localizada a ré da chaminé, e em quatro motores diesel que desenvolvem uma potência unitária de 16800KW a 514 rpm, instaladas numa única casa de máquinas. Com esta configuração o Queen Mary 2 possui quatro propulsores pod Mermaid, os dois avante fixos e outros dois a ré azimutais, localizados todos na popa da embarcação. Com a propulsão elétrica azipod as linhas de veio, lemes e servo-motores são dispensáveis, possibilitando uma economia de peso e espaço, os quais podem ser disponibilizados para outros fins, tais como uma maior capacidade de passageiros.
Esta combinação de turbinas possui uma grande vantagem quanto a outros navios: uma boa flexibilidade operacional e redundância para uma operação normal. Como os grupos de motores diesel-alternadores e as turbinas de gás-alternadores possuem quadros elétricos diferentes e também estão separados a uma distância considerável, alguma possiblidade de incidente que possa deixar uma ou outra fonte de energia elétrica não resultará na inoperação do navio. Além disso, o QM2 possui baixos níveis de ruídos e vibrações, assim como uma menor necessidade de manutenção e um arranque mais rápido.

Figura 27 - Ilustração do navio de cruzeiro Queen Mary 2



Fonte: www.queenmarycruises.net

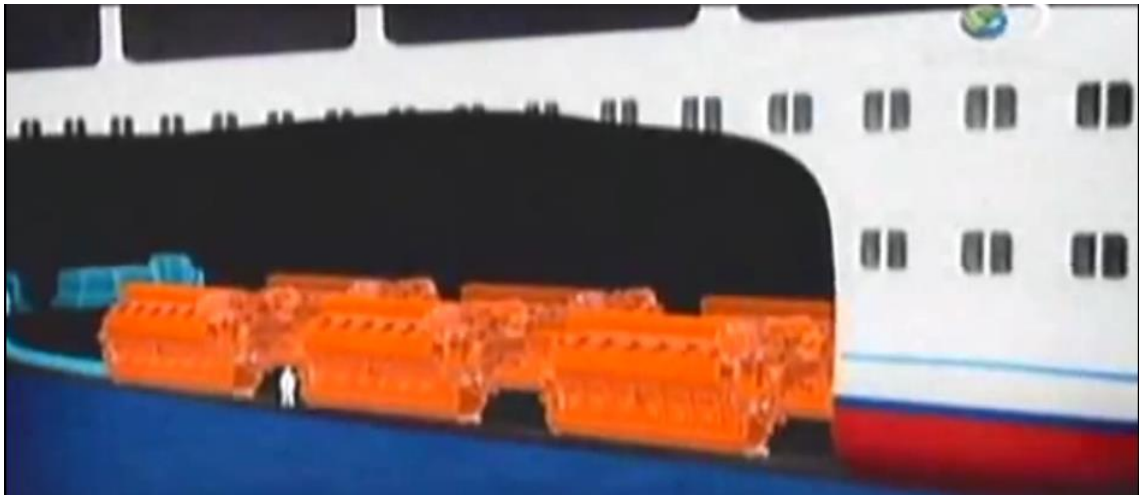
Ao comparar a redundância apresentada pelo QM2, observa-se que ela passou a não ser só um aspecto importante para o aumento da eficiência da embarcação, mas também um aspecto relativo à segurança. É possível perceber tal detalhe ao comparar o Queen Mary 2 com o navio de cruzeiro Costa Concordia, um dos maiores navios de cruzeiro do mundo que sofreu um dos maiores acidentes da história marítima após o Titanic numa sexta feira, 13 de janeiro de 2012.

O sistema de propulsão do Costa Concordia contava com seis geradores a diesel, os quais geram uma potencia combinada superior a 100000 cavalos e alimentam dois motores elétricos que giram os propulsores. O acidente ocorreu quando o navio, ao aproximar-se da ilha de Dibli, teve o seu casco rasgado no lado de bombordo por uma rocha de granito, mesmo lado onde se localizavam os geradores a diesel. Tais geradores eram localizados abaixo do nível da água para ajudar na estabilidade da embarcação. A área foi inundada logo após o impacto e a água salgada atingiu os painéis de controle elétrico, tendo como consequência a perda de energia pelo navio, ficando este à deriva após o impacto. Os motores começaram a falhar e sem energia elétrica o navio começou a perder velocidade, levando o Concordia a assumir um adernamento muito perigoso e que resultou em mortes.

Ao comparar-se o sistema de propulsão do Costa Concordia com o Queen Mary 2 é observado que se o primeiro possuísse a mesma redundância que o segundo não ficaria

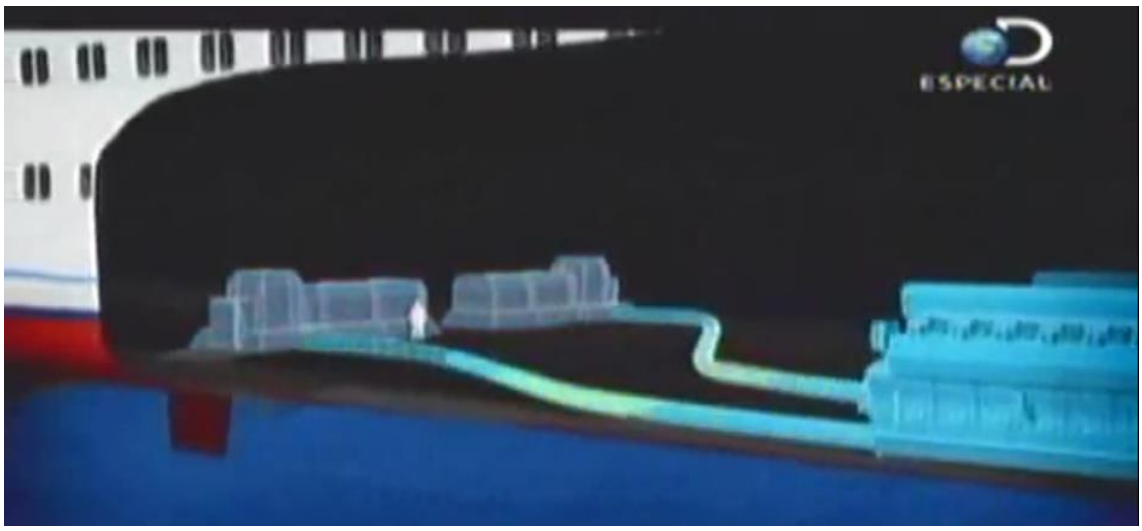
inoperante. O sistema de propulsão do Queen Mary permitiria que o navio continuasse com energia elétrica e o Concordia continuaria operativo.

Figura 28- Motor a diesel do navio de cruzeiro Costa Concordia



Fonte: vídeo Discovery Channel

Figura 294 - Motor elétrico do navio de cruzeiro Costa Concordia

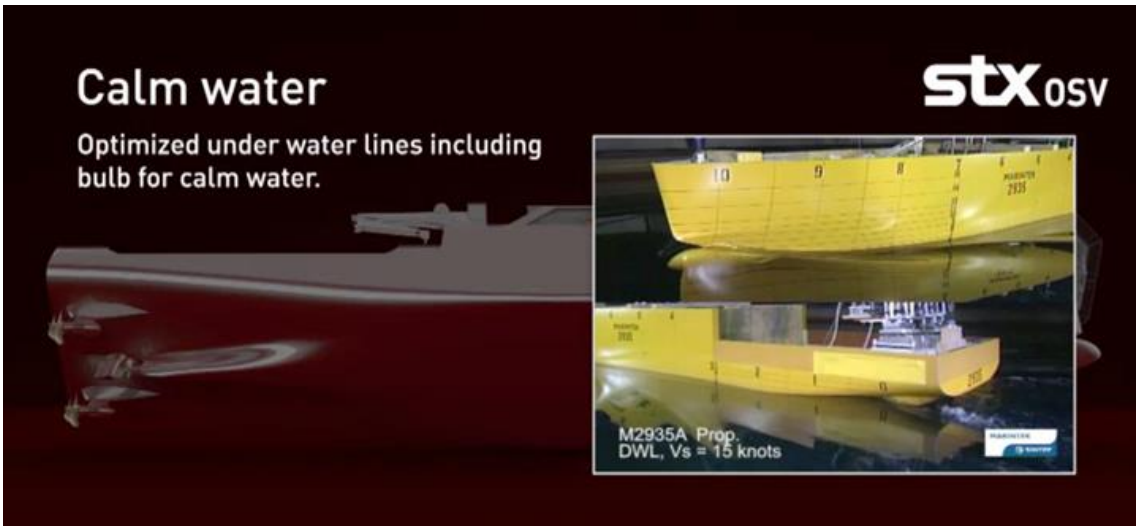


Fonte: vídeo Discovery Channel

5.2 STX – OSV

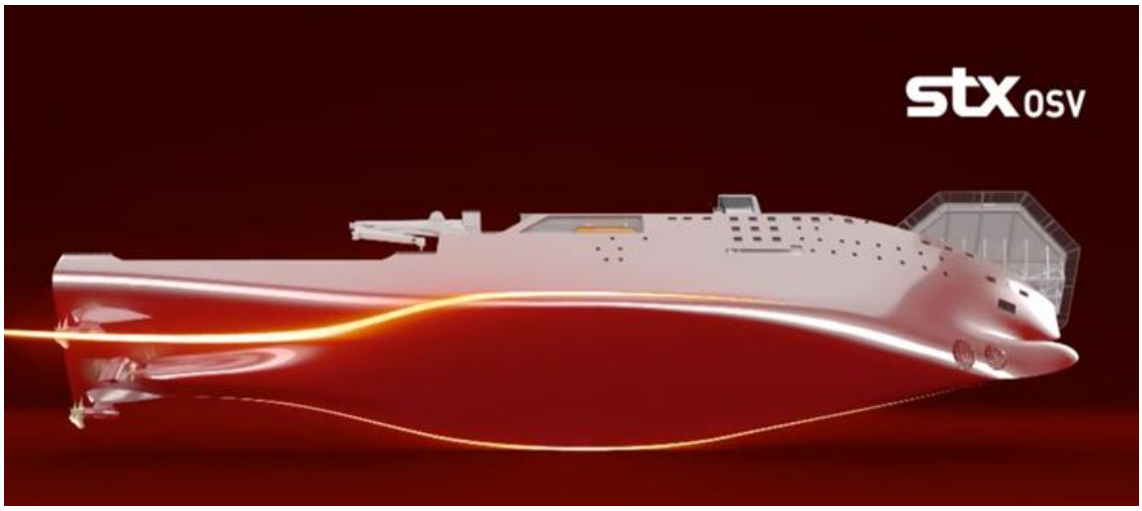
O STX, navio da empresa norueguesa DOF, apresenta características hidrodinâmicas que aumentaram sua eficiência energética. O seu desenho de obras vivas otimiza a navegação em mar calmo e a presença do bulbo diminui a resistência de ondas.

Figura 30 - STX em mar calmo



Fonte: Estaleiro VARD. Vídeo institucional Norskan Offshorem Ltda

Figura 31 - STX em mar calmo

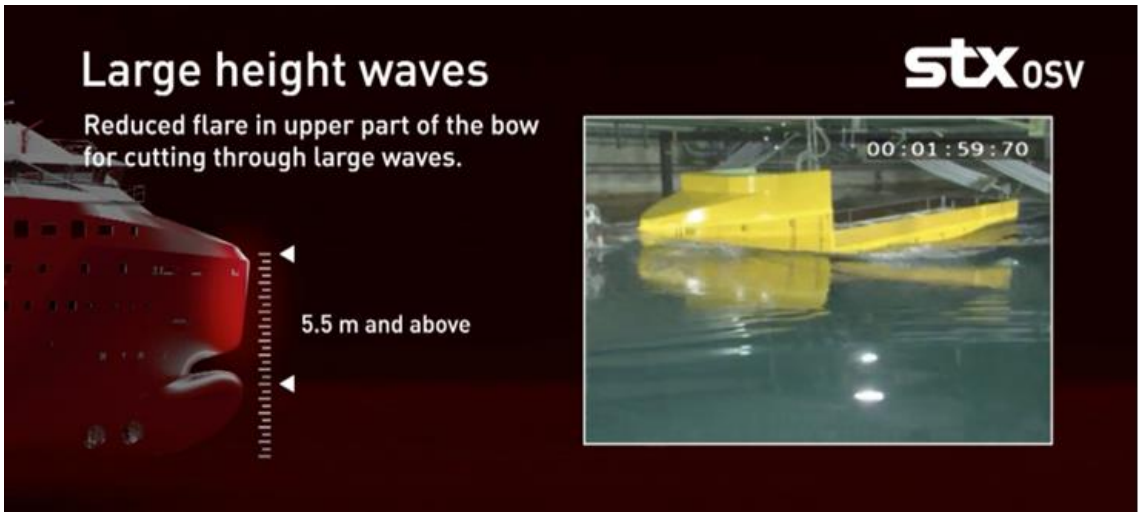


Fonte: Estaleiro VARD. Vídeo institucional Norskan Offshorem Ltda

O desenho exclusivo do navio STX-OSV compreendido entre bulbo e proa permite que a embarcação corte as ondas com maior eficiência. As grandes ondas são cortadas pela parte

superior da proa, pois seu desenho exclusivo diminui a quantidade de água espalhada.

Figura 32 - STX-OSV em mar com grandes ondas



Fonte: Estaleiro VARD. Vídeo institucional Norskan Offshorem Ltda

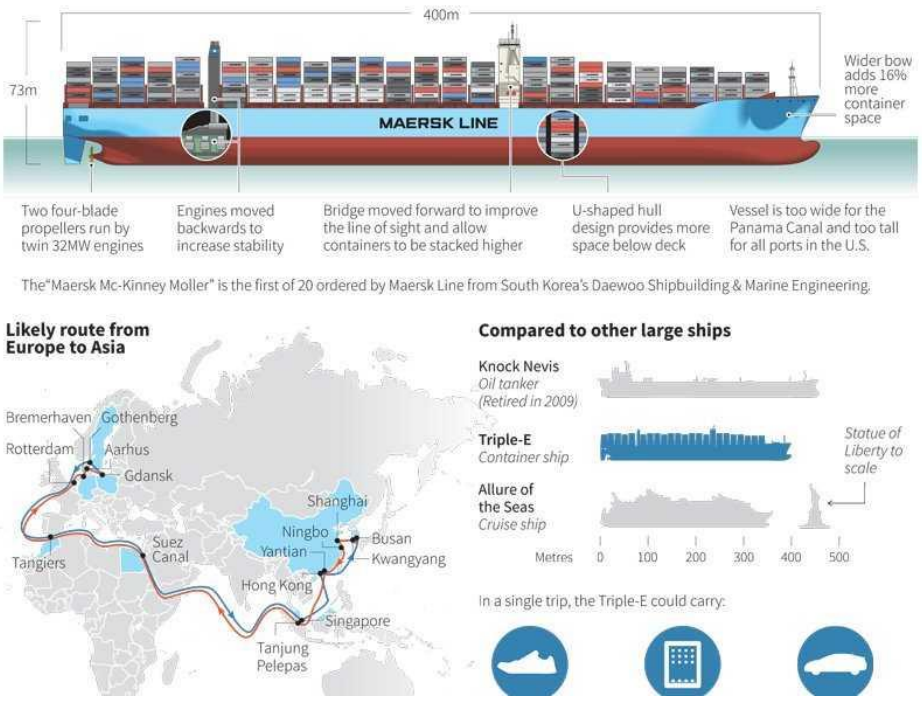
Ao juntar-se todas estas inovações no costado é obtida melhor performance da embarcação, diminuição de consumo de combustível devido ao menor esforço necessário e mais conforto para a tripulação, pois a embarcação enfrenta melhor as diversas condições de mar reinantes.

5.3 Maersk Triple E

O Maersk Triple E é considerado o maior navio porta-contêineres do mundo, capaz de transportar 165 mil toneladas de produtos a cada viagem. Pertencente à empresa dinarmaquesa Maersk, seu nome foi escolhido para indicar os três principais objetivos por trás de sua criação: economia de escala, eficiência energética e ambientalmente correto (amigável). O navio irá emitir 20% a menos de CO2 por contêiner movimentado quando comparado ao maior navio atual, o porta-contêineres Emma Maersk, e 50% a menos que a média dos navios que atuam na rota de comércio Ásia- Europa.

O navio utiliza o sistema de propulsão de dois hélices e dois lemes. Possuindo dois motores gêmeos a diesel, estes impulsionam as duas hélices de quatro pás e cada uma com 9.8 metros de diâmetro. Os motores se localizam a ré do navio para que haja aumento de estabilidade. Além disso, há um sistema de recuperação de calor de modo que exista uma economia de até 10% do motor principal. Do ponto de vista hidrodinâmico a embarcação foi projetada com um casco em formato de U, oferecendo assim maior espaço abaixo do convés. Entretanto, esse formato cria mais resistência ao avanço o tornando mais lento em comparação aos navios que possuem casco em V. Para reduzir a resistência de ondas, uma das componentes da resistência ao avanço, é utilizado um bulbo de proa com uma forma mais arredondada e a proa é mais ampla com a finalidade de adicionar um espaço de até 16% maior para o carregamento de contêineres.

Figura 33 - Ilustração do Maersk Triple E



Fonte: www.businessinsider.com

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o intuito de aumentar a eficiência energética das embarcações ações como otimizar as características hidrodinâmicas e escolher o sistema propulsivo de acordo com o perfil operacional do navio são realizadas. Abaixo a tabela apresenta alguns exemplos de ganhos em eficiência com a adoção de medidas para navios já existentes ou para navios novos:

Tabela 3 Exemplos de ganhos em eficiência com ações de otimização para navios existentes e para navios novos

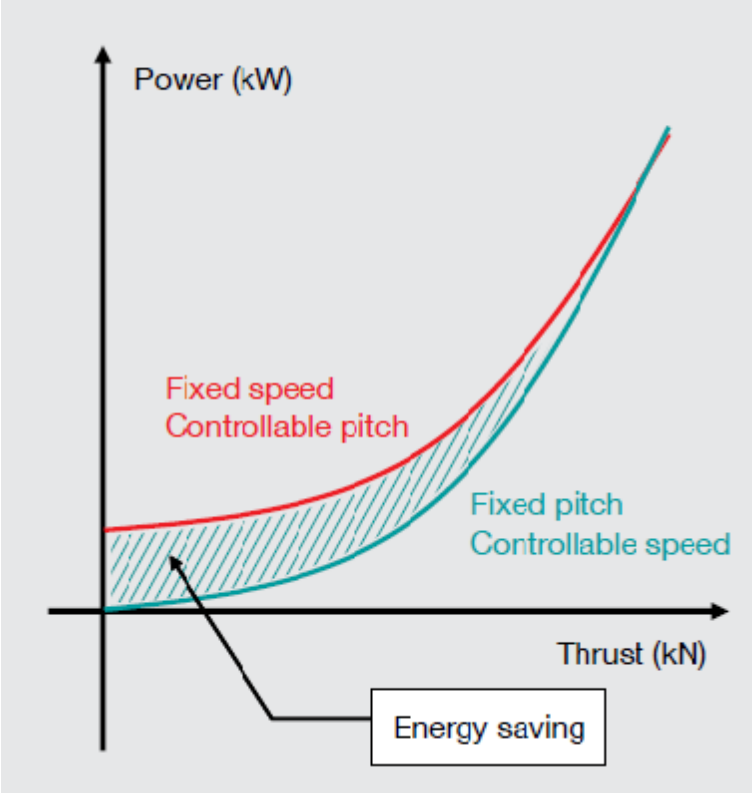
Ações	Navios existentes Ganho (%)	Navios Novos Ganho (%)
Otimizar formas do casco, incluindo reduzir CB		3 – 10
Otimizar o propulsor	2	3 - 6
Manutenção da superfície molhada do casco	2 – 5	2 – 5
Dispositivos de redução de perdas / recuperação de energia de propulsão	2 - 6	2 – 6
Otimização do trim (navios de CB altos)	1 – 2	1 – 2
Skeg duplo + bi-hélices		5 – 8

Fonte: The Naval Architect, March 2008

De acordo com a tabela, a importância do projeto hidrodinâmico de cascos de propulsores pode ser percebida e a utilização de medidas experimentais e métodos de CFD(computação em fluido dinâmica) são cada vez mais utilizadas na busca por navios cada vez mais eficientes energicamente, que apresentem menores custos operacionais e sejam ambientalmente corretos. A meta é otimizar o máximo possível as formas e linhas dos cascos e os sistemas de propulsão e manobras para que estes fatores atuem cinergicamente.

Quanto ao sistema propulsivo, de acordo com o apresentado anteriormente, o sistema de propulsão elétrica torna-se a melhor alternativa a ser utilizada ao ser levado em consideração a redução de combustível, redundância do sistema, mais conforto para a tripulação visto que o ruído e a vibração diminuem consideravelmente em relação ao sistema de propulsão convencional. A economia de combustível pode chegar a 15-25 por cento em perfis normais de operação, e até 40-50 por cento em operações com posicionamento dinâmico.

Figura 34 - Comparação de gasto de energia entre os sistemas de propulsão mecânica e elétrica



Fonte:

A solução elétrica que apresenta maior procura é o sistema de propulsão diesel-elétrica-mecânica, também conhecida como híbrida, já que este busca unir as melhores características do sistema de propulsão convencional e do sistema de propulsão elétrica, sendo uma alternativa para obter-se economia de combustível e melhor adequação operacional.

Contudo, tal sistema pode não ser adequado para navios que exijam um outro sistema propulsivo o qual atenda melhor seu perfil operacional.

Deste modo, pode-se concluir que o perfil operacional da embarcação é fundamental para a seleção dos aspectos hidrodinâmico e da escolha do sistema propulsivo que virá a ser utilizado, sendo tais aspectos diferentes para cada tipo de navio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Resolução MEPC.203(62). Disponível em: <http://www.syndarma.org.br/upload/MEPC.203(62)p%20-%2001Jan13.pdf>. Acessado em: 19/07/2014

Outros instrumentos. Disponível em: <https://www.ccaimo.mar.mil.br/convencoes_e_codigos/outros_instrumentos>. Acessado em: 19/07/2014

Marine Environment Protection Committee (MEPC) – 62nd Session: 11 to 15 July 2011. Disponível em: <http://www.imo.org/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-62nd-session.aspx>. Acessado em: 19/07/2014

ORGANIZAÇÃO MARÍTIMA INTERNACIONAL. **MARPOL consolidated edition 2006.** International Maritime Organization, 2006

BAPTISTA, LUIS FILIPE**. Capítulo V- Sistemas de Propulsão e Governo**. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CDgQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.enautica.pt%2Fpublico%2Fprofessores%2Fbaptista%2FTecMar%2FSlidesCap5-SistPropulsao.pps&ei=jgjVU5uVPNTesASPzoHACw&usg=AFQjCNEaHsu7jNM7kBimH5JnjWK_O4RQaQ>. Acessado em: 20/07/2014

ALVES, FELIZARDO. **Capítulo III Instalações Propulsoras – 1° Parte**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/21538025/Capitulo3-InstPropTurbinas>. Acessado em: 22/07/2014

BIGATON, CLAUDINEI. **Redutor de Velocidade**. Disponível em: <http://www.etepiracicaba.org.br/cursos/apostilas/mecanica/3_ciclo/projetos_mecanicos.pdf>. Acessado em: 22/07/2014

What is Azipod Propulsion System on Ship?. Disponível em: <http://www.marineinsight.com/tech/marine-electrical/what-is-azipod-propulsion-system-on-ship/>. Acessado em: 02/08/2014

Inovação em motores marítimos reduz custos. Disponível em: <http://www.cliptvnews.com.br/antaq/intranet/amplia.php?id_noticia=40040>. Acessado em: 02/08/2014

Plancius. Disponível em: <http://www.antartida.com.br/novo/expedicao-antartida-planicius.html>. Acessado em: 02/08/2014

Gerente da Wärtsilä palestra sobre sistema diesel-elétrico-mecânico. Disponível em: <http://www.monitormercantil.com.br/index.php?pagina=Noticias&Noticia=143668>. Acessado em: 05/08/2014

Sistema WEG de Automação para Navios. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Media-Center/Noticias/Produtos-e-Solucoes/Sistema-WEG-de-Automacao-para-Navios>. Acessado em: 05/08/2014

Hidrodinâmica de navios. Disponível em: <http://www.ipt.br/solucoes/4-hidrodinamica_de_navios.htm>. Acessado em: 05/08/2014

LEVI, CARLOS. SALHUA, CÉSAR A. **Efeito De Fundo Sobre a Resistência De Onda**. Disponível em: <http://www.ipen.org.br/downloads/XIX/CT7_INVESTIGACI%C3%93N_Y_CIENCIAS_DEL_MAR/Carlos%20Levi%20da%20Conceicao.pdf>. Acessado em: 05/08/2014

PADOVEZI, CARLOS DAHER. **A importância do projeto hidrodinâmico de cascos e de sistemas de propulsão de navios**. Disponível em: <http://www.ipen.org.br/downloads/articulos/a-importancia-do-projeto-hidrodinamico.pdf>. Acessado em: 05/08/2014

SLADE, STUART. **Skeg Design**. Disponível em: <http://www.navweaps.com/index_tech/tech-014.htm>. Acessado em: 05 de agosto de 2014

Revista Superinteressante. **A Grande Baleia de Aço**. Ed.329, fevereiro 2014

Discovery channel. **Vídeo instrucional O Concordia.** Acesso em: 15 de agosto de 2014

GERK, HERMANN REGAZZI. **Slides do Curso de Hidrodinâmica do Navio**, 2014 Rio de Janeiro

Estaleiro VARD. **Vídeo institucional Norskan Offshorem Ltda.** Acesso em: 16 e agosto de 2014

Building the World's Biggest Ship. Disponível em: <http://www.maersk.com/innovation/leadingthroughinnovation/pages/buildingtheworldsbiggestship.aspx>. Acessado em: 07/08/2014

Efficiency. Disponível em: <http://www.worldslargestship.com./>. Acessado em: 15/08/2014

NASSEH, JORGE. **Hélices - Como Selecionar (Parte 2)**. Disponível em: <http://www.nautibras.com.br/suporte/texto-008.htm>. Acessado em: 15/08/ 2014

MATTOS, JOÃO HENRIQUE VOLPINI. **Cálculos de esforços em Sistemas Propulsivos**. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/volpini/apresentao-nauticus-machinery>. Acessado em: 15/08/2014

VALE, ALAN RAFAEL MENEZES DO. **Análise Modal Numérico-Experimental de Hélices Navais Produzidos na Região Amazônica**. Disponível em: <http://www.gva.ufpa.br/tcc/TCC%20-%20Alan.pdf>. Acessado em: 16/08/2014

WHEISENTHAL, JOE. **Here's A Guide To The Incredible Maersk Triple-E, The Gigantic Ship That Could Carry 182 Million iPads Or 36,000 Cars**. Disponível em: <http://www.businessinsider.com/maersk-triple-e-2013-8>. Acessado em: 16/08/2014

Super transatlântico do século 21. Disponível em: <**http**://revistagalileu.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/1,3916,720929-1938-1,00.html>. Acessado em 10 de agosto de 2014