

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE-EFOMM

Pedro Philippe de Assis Salaman
Denilson Veiga do Nascimento

PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÓLEO DIESEL EM EMBARCAÇÕES
MERCANTES

RIO DE JANEIRO
2018

PEDRO PHILIPPE DE ASSIS SALAMAN
DENILSON VEIGA DO NASCIMENTO

**PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÓLEO DIESEL EM EMBARCAÇÕES
MERCANTES**

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(a): Prof. Ramessés César da Silva Santos

RIO DE JANEIRO

2018

PEDRO PHILIPPE DE ASSIS SALAMAN
DENILSON VEIGA DO NASCIMENTO

**PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÓLEO DIESEL EM EMBARCAÇÕES
MERCANTES**

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(a): Prof. Ramessés César da Silva Santos

Assinatura do(a) Orientador(a)

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) aluno (a)

Este trabalho é dedicado a Deus e aos nossos familiares, em especial nossos pais, que nos deram todo o suporte, à vida e nos apoiaram em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus campanhas com os quais estudei e aos professores, os quais me orientam até os dias de hoje.

RESUMO

Este estudo aborda o óleo diesel, enfatizando sua evolução até os dias atuais, visando adaptar o consumo desse combustível pelos motores que acionam os navios às exigências do mercado referentes a novos padrões estabelecidos pelos organismos de controle do meio ambiente internacionais que visam reduzir os teores dos gases poluentes lançados pelas embarcações. Após breve descrição das propriedades e características do combustível diesel, são apresentadas as inovações trazidas pelas novas tecnologias de fabricantes engajados nos esforços de aumentar a eficiência e a economia do consumo de combustível pelos navios de transporte de cargas e passageiros em curso off-shore.

Palavras-chave: Embarcações. Off-Shore. Motores. Óleo diesel.

ABSTRACT

This study addresses the diesel oil, emphasizing its evolution to the present day, in order to adapt the fuel consumption of the engines that ships use to market requirements for new standards established by the international environment control aimed at reducing the levels of gaseous pollutants released by vessels. After a brief description of the properties and characteristics of diesel oil, are described the innovations generated by the new technologies of manufacturers engaged in efforts to increase the efficiency and economy of fuel consumption by cargo and passenger ships that transport in off-shore course.

Keywords: Ships. Off-shore. Engines. Diesel oil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES/FIGURAS

Figura 1:	O <i>Sealand</i> - navio irmão gêmeo do <i>Titanic</i> e do <i>Britannic</i> .	15
Figura 2:	O <i>Olympic</i>	16
Figura 3:	Motor diesel, cilindro e virabrequim	17
Figura 4:	OSV (<i>Offshore Service Vessel</i>) acionado por LNG	23
Figura 5:	Motor marítimo a diesel MAN S90ME-C9.2	25
Figura 6:	Os três modos MCR	27
Figura 7:	Motor a gás de queima pobre <i>Bergen</i> . Recuperado de motor a gás <i>Bergen B35:40</i>	28
Figura 8:	Combustão do motor a gás de queima pobre <i>Bergen</i>	29
Figura 9	Diagrama De dados da emissão de NOx para motores a gás x diesel, comparavelmente dimensionados	30
Figura 10	Diagrama de microturbina	32
Figura 11	Instalações de LNG no porto de <i>Zeebrugge</i> , Noruega	35
Figura 12	Barcaça Abastecedora de óleo combustível	36
Figura13	O motor diesel naval <i>Wartsila 32</i> : a “joia da coroa”	38
Figura 14	Motores <i>Wartsila 32</i> – Navio de passageiros <i>Finnmarken</i>	40
Figura 15	Motor diesel marítimo <i>Scania</i> de 13 litros da nova geração	41
Figura 16	Protótipo de FCB2 do RNLI no <i>Supacat</i> em <i>Hoylake, Nr Liverpool</i>	42
Figura 17	Desenho do PSV SV310DF	43
Figura 18	Inspeção de tolerância	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus centígrados ou Celsius
CGSB	Canadian General Standards Board
CMT	Chartage Maritime Transport
CO	Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
DCPC	Diciclopentadieno
DNV	Det Norske Veritas
DWT	Deadweight tonnage
EEDI	Desenho de eficiência de energia
ESPO	Organização Europeia de Portos Marítimos
GP	Green Passport
GT	Gross Tonnage
IEEC	International Energy Efficiency Certificate
IMO	International Maritime Organization – Organização Marítima Internacional
HP	Horse Power / Cavalos de Força
HZ	Hertz
ISO	International Standards Organization
JIP	Joint Industry Project
KTS	Knots (nós)
KW	Quilowatt
LNG	Liquid Natural Gas
LSFO	Low Sulphur Fuel Oil
MARPOL	Convenção Internacional para Prevenção de Poluição por Navios
MCR	Cotação continua máxima
MINT	Fundo de Inovação e Tecnologia Marítima
MPA	Maritime and Ports Authority
MW	Megawatt
Nm	Nautical mile
NOx	Óxido de nitrogênio

OSV	Offshore Service Vessel
PARC	Process and Asset Risk Management Conference
Ppm	Partículas por milímetro
PSV	Plataforma de combustível duplo
R&D	Research & Development
Rev/min	Revolução por minuto
RNLI	Royal National Lifeboat Institution
Rpm	Rotação por minuto
SECA	Área de controle de Emissão de Sox (MARPOL V1)
SEEMP	Plano de Gerenciamento de Eficiência da Energia de Navios
SFOC	Consumo de óleo combustível otimizado
TDG	Transporte de Mercadorias Perigosas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	O ÓLEO DIESEL, SUAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS	14
2.1	O aparecimento dos motores navais a diesel	14
2.1.1	<i>O Sealandia</i>	14
2.1.2	<i>O Olympic</i>	15
2.2	Combustíveis derivados de diesel convencionais	16
2.3	Qualidades e propriedades do combustível diesel	13
2.3.1	Número de cetano	13
2.3.2	Volatilidade	18
2.3.3	Viscosidade	19
2.3.4	Lubricidade do combustível	20
2.3.5	Ponto de inflamação (Flash Point)	20
2.3.6	Teor de enxofre	21
2.3.7	Resíduos de carbono	21
2.3.8	Cinza	21
2.3.9	Acidez	21
2.3.10	Condutividade elétrica	21
2.3.11	Estabilidade térmica	22
2.4	Normas internacionais sobre combustível diesel	22
3	TECNOLOGIAS MAIS RECENTES	25
3.1	Motor de deslocamento lento MAN S90MEC9.2	25
3.1.1	SFOC otimizado (consumo específico de óleo combustível)	25
3.1.2	SFOC (consumo de óleo combustível otimizado) otimizado	26
3.2	Motor de ignição por centelha de gás natural de queima pobre e velocidade média (ciclo OTTO)	27
3.2.1	Emissão de NOx para os motores Bergen	30
3.3	Microturbinas Capstone	31
3.4	LNG – gás natural líquido	33
3.4.1	Abastecimento de LNG na Europa	33
3.4.2	Abastecimento de LNG no Sudeste asiático	35
3.5	Teste de combustível de motores diesel marítimos	36
3.6	Contaminação por óleo combustível	37

3.6.1	Um problema global	37
4	INOVAÇÕES PIONEIRAS	38
4.1	Motor <i>Wartsila</i>	38
4.1.1	Desenvolvimento do motor <i>Wartsila 32</i>	38
4.1.2	Última geração de <i>Wartsila 32</i>	39
4.2	Nova geração <i>Scania de motores Diesel Marítimos para dupla de lançamento em praia RNLI</i>	40
4.2.1	RNLI Classe Shannon e Trator de lançamento e recuperação <i>Supacat</i>	41
4.3	Primeiro PSV de combustível duplo LNG no horizonte	42
4.3.1	Registro de barcos norte-americanos lento para acompanhar a tecnologia de motores diesel marítimos LNG	43
4.3.2	Desenho do SV310DF “verde”da <i>Harvey Gulf</i>	44
4.4	O projeto HERCULES Levanta a bandeira para o desempenho dos anéis de pistão e revestimentos	44
4.4.1	O projeto HERCULES	44
4.4.2	Em direção ao Estado de Arte dos Anéis de Pistão e Revestimentos de cilindros	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
	REFERÊNCIAS	48

1.INTRODUÇÃO

Esta pesquisa bibliográfica irá analisar as novas formas de tratamento de óleo combustível que vêm sendo empregadas nos processos mais modernos de tratamento de óleo diesel em embarcações no ambiente *off-shore*.

A energia é essencial para que a humanidade possa desempenhar suas atividades cotidianas, seja ela de origem nuclear, elétrica ou de fósseis. O petróleo é atualmente a maior fonte de energia e de inúmeros derivados, os quais constituem a base do sistema energético mundial.

Os processos envolvidos na produção de petróleo inicialmente eram todos realizados em terra, na própria superfície ou a poucos metros de profundidade. Posteriormente, ficou evidente a necessidade da extração de petróleo em profundidades cada vez maiores, o que trouxe muitos desafios que provocaram o surgimento de novas tecnologias. Com o acréscimo da produção mundial de produtos e com o encurtamento das distâncias em relação ao comércio, deu-se a necessidade de maior produção de energia para atender à crescente demanda, sendo necessária a busca de novas jazidas petrolíferas.

O fato de as reservas mundiais em terra serem de propriedade de alguns poucos países deixava a oscilação dos preços sempre à mercê de especulações, e a saída encontrada foi a extração de petróleo em leito marinho, com a escavação de poços em alto mar e a alocação de plataformas para dar estrutura física a essa busca. Esse novo cenário fez surgir novos processos, com muitos novos equipamentos para dar conta dessa nova forma de produção, entre eles as embarcações que trabalham suprindo a produção e transporte de petróleo, derivados e materiais. Vários tipos de embarcações são responsáveis pelas múltiplas tarefas de armazenar, transportar, transferir, descartar resíduos gerados durante a extração dos materiais, dar suporte, movimentar e ancorar plataformas, lançar dutos, recolher o óleo derramado, e muitas outras.

Ultimamente, tem-se observado o surgimento da conscientização, entre todos os segmentos envolvidos, de que se torna cada vez mais premente a necessidade de se utilizar um produto de boa qualidade como fonte energética. Para isso, tem-se desenvolvido vários artifícios visando a otimização dos derivados do petróleo, em especial os produtos chamados “claros”, tais como diesel, gasolina, querosene etc.

As pessoas que desenvolvem esses processos têm que ter conhecimento técnico e treinamento específico para executarem todas as rotinas relacionadas aos procedimentos a serem realizados, tais como: extração, transporte, tratamento e armazenamento do óleo. Os recursos materiais, humanos e financeiros também têm que ser levados em consideração, e exigem uma série de requisitos para que esta ação possa ser regulamentada.

Esta pesquisa vai resumir e comparar os trabalhos apresentados em anos recentes sobre o tema, principalmente na imprensa em nível internacional dedicada aos assuntos marítimos e científicos. Assim, no capítulo 2 tem-se a Introdução ao assunto, com algumas noções básicas sobre o óleo diesel, suas propriedades e características e aspectos históricos de seu aparecimento no mercado; o capítulo 3 traz as tecnologias mais recentes que vieram tornar o combustível diesel mais adequado às normas internacionais, levando em conta a preservação do meio ambiente; em seguida são apresentadas as conclusões e as referências que foram utilizadas para a realização do trabalho.

2.0 ÓLEO DIESEL, SUAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS

2.1.O aparecimento dos motores navais a diesel

O início do século passado vê o lançamento do *Sealandia*, o primeiro navio de carga de curso oceânico com propulsão por motor a diesel que, no ano de 1911, juntamente com o *Olympic*, fez sua viagem inaugural com propulsão compartilhada entre turbina a vapor na nova moda e o motor de reciprocidade a vapor (BACKWELL, 2012d).

Joseph Conrad descreveu o moderno navio de passageiros como "uma maravilha da ciência aplicada em seu lado técnico, e uma imitação precária e desagradável de um Hotel *Ritz* em sua atmosfera social. Conrad, autor fanático pelos assuntos náuticos e mestre da era dos navios a vela, gravou essa sua impressão em seu ensaio *Ocean Travel*, após uma viagem transatlântica que ele fez nos anos vinte. Embora por vias separadas, ambos, o *Olympic* e o *Sealandia* exemplificam duas dessas maravilhas da ciência aplicada, como pensava Conrad (BACKWELL, 2012d).

2.1.1 O Sealandia

O *Sealandia*, com suas 6.800 toneladas de porte bruto, foi o primeiro navio do mundo da faixa oceânica propulsionado por um motor a diesel (de acordo com a opinião mais generalizada), lançado em 1911 nos estaleiros *Burmeister & Wain*, em Copenhague, para ser entregue à Companhia *East Asiatic* da Dinamarca. A potência de propulsão foi fornecida por dois motores a diesel de 8 cilindros, 4 ciclos, 1.250 hp, comandando hélices duplas.

Winston Churchill, ministro encarregado pelo Almirantado Britânico naquela ocasião, viu o significado desde desenvolvimento, facilitando a realização do negócio quando o *Sealandia* chegou a Londres, mas não ficou registrado se ele previu que o motor a diesel marítimo eventualmente iria sobrepor-se à turbina a vapor até dominar a propulsão dos navios mercantis como chegou até os dias de hoje (BACKWELL, 2012d).

Figura 1: O *Sealand* – navio irmão gêmeo do *Titanic* e do *Britannic*.



Fonte: BACKWELL (2012d)

2.1.2. O *Olympic*

Nas pegadas do *Cunard* (navios de passageiros transatlânticos rivais), que estavam empregando uma nova turbina a vapor para a propulsão de seus novos navios, os proprietários do *Olympic*, a *White Star Line*, andava em busca de motor mais recente para seu trio de novos navios. Entretanto, os construtores de *Belfast*, *Harland* e *Wolff* aconselharam uma abordagem mais cautelosa, instalando uma constelação combinada no *Olympic*. Uma a vapor de baixa pressão acionava o eixo central, enquanto um motor de reciprocidade a vapor bem confirmado fazia o trabalho restante (motores de expansão tripla, de 4 cilindros), para comandar as duas hélices externas.

No verão de 1911, o *Olympic*, de aparência idêntica à do *Titanic*, fez sua viagem transatlântica pioneira, de *Southampton* a *New York*, eventualmente para fazer jus a seu apelido afetado de "Old Reliable" (Velho Confiável), e desta época em diante a turbina a vapor gradualmente tornou-se a opção preferida para propulsão de novos navios de passageiros construídos.

Figura 2: O Olympic

Fonte: Wikipedia (2018)

O ano de 1911 foi assim um ano agitado por inovações em propulsão marinha, e será difícil outro ano superá-lo, no século que veio em seguida.

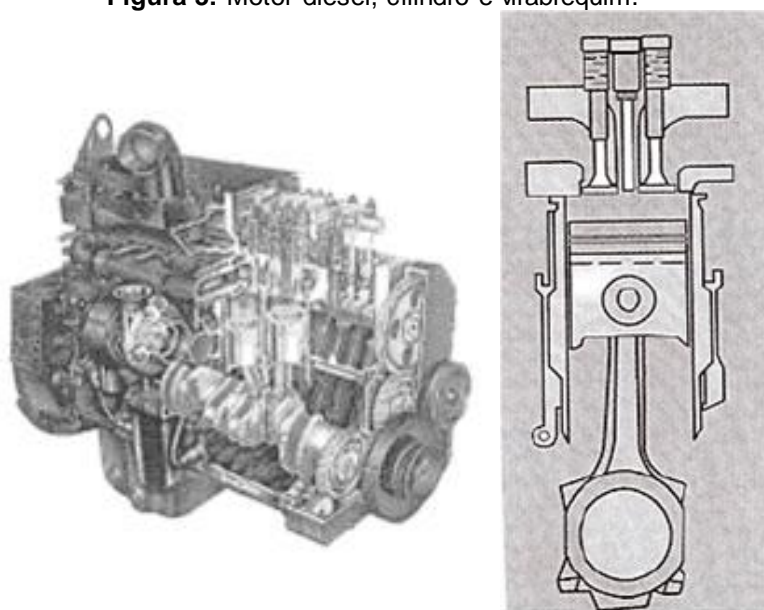
2.2 Combustíveis derivados de Diesel convencionais

Os combustíveis à base de diesel convencionais são destilados com uma faixa de ebulição de cerca de 149° C a 371°C, obtido pela destilação de óleo cru. Os componentes dos combustíveis de diesel são frações de curso direto contendo hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, nafta e gasóleo. Os óleos de gás atmosféricos tendem a ter ignição de boa qualidade (número de cetano), mas muitos contêm alguns hidrocarbonetos de alto ponto de fusão (gorduras) que podem resultar em altos pontos de nebulização e gotejamento (UFA, 2009).

Essas frações são misturadas para produzir diferentes graus sazonais de combustíveis de diesel exigidos para atender a uma ampla faixa de usos de motores a diesel.

O combustível de diesel produz força em um motor quando é atomizado e misturado com ar na câmara de combustão. A pressão causada pela elevação do pistão no cilindro causa um rápido aumento da temperatura. Quando o combustível é injetado, a mistura combustível/ar entra em ignição e a energia do combustível diesel é liberada, forçando o pistão para baixo e girando o eixo de propulsão (virabrequim), como indicado na Figura 3 (EASTLACK, 2011).

Figura 3: Motor diesel, cilindro e virabrequim.



Fonte: Chevron Corporation, apud UFA, 2009.

2.3 Qualidades e propriedades do combustível Diesel

2.3.1 Número de cetano

Número de cetano é uma medida do retardo de ignição de um combustível diesel. Quanto mais curto o intervalo entre o tempo em que o combustível é injetado e o tempo em que ele começa a queimar, mais alto é o número de cetano. É a medida da facilidade com que o combustível pode ser queimado e é mais significativo na partida à baixa temperatura, aquecimento, ponto morto e lento, e na combustão uniforme. As exigências do número de cetano dependem do desenho e do tamanho

do motor, da natureza da velocidade e das variações de carga, e das condições da partida e da atmosfera (EASTLACK, 2011).

Alguns hidrocarbonetos queimam mais prontamente do que outros e são mais desejáveis, devido a este curto retardo da ignição. Os hidrocarbonetos preferidos em ordem decrescente de seu número de cetano são: parafinas normais, oleofinas, nafetnos, iso-parafinas e aromáticos.

Esta é a ordem inversa de sua qualidade anti-trava. O número de cetano é medido em um motor de teste de cilindro único, com uma taxa de compressão variável. Os combustíveis de referência usados são misturas de cetano, que tem um retardo de ignição muito curto, e alfa-metil naftaleno, que tem um retardo de ignição longo. A percentagem de cetano no combustível de referência é definida como o número de cetano do combustível testado.

A importância do número de cetano é bastante evidente, uma vez que o número de cetano usualmente causa um retardo na ignição no motor. Este retardo causa dificuldades na partida e trava do motor. O retardo da ignição também causa pouca economia de combustível, perda de força e às vezes danos ao motor. Um combustível com número de cetano baixo também pode causar fumaça branca e odor na partida, nos dias mais frios. A fumaça de exaustão branca é composta por vapores de combustível e aldeídos criados pela combustão incompleta do motor. O retardo da ignição sob clima frio é frequentemente a causa. Não há calor suficiente na câmara de combustão para queimar o combustível e, sendo assim, este não queima completamente (EASTLACK, 2011).

Os motores a diesel cujas velocidades são cotadas abaixo de 500 rpm são classificados como motores de velocidade lenta; de 500 a 1200 rpm como motores médios e de mais de 1200 rpm como de alta velocidade. Os combustíveis diesel típicos têm números de cetano de 40 na faixa de baixo a médio. Estes são geralmente satisfatórios para motores de alta velocidade enquanto que os motores de velocidade baixa e média usam combustíveis com número de cetano mais baixos.

Algumas refinarias têm usado aditivos tais como o hexilnitrato ou amilnitrato, para aumentar os números de cetano (EASTLACK, 2011).

2.3.2 Volatilidade

A característica de destilação do combustível descreve sua volatilidade. Um combustível perfeitamente projetado tem a proporção ótima de componentes de baixa ebulição para fácil partida fria e rápido aquecimento e componentes mais pesados que proporcionam economia de força e combustível quando o motor atinge a temperatura de operação. Tanto a volatilidade alta demais quanto a baixa demais podem causar o aparecimento de fumaça, depósitos de carbono e diluição de óleo devido ao efeito na injeção e vaporização do combustível na câmara de combustão. Os pontos 10, 50 e 90% são os principais controles de volatilidade. O Padrão Geral Canadense 2-3.6M81 permite um ponto 90% de 360°C para o combustível diesel tipo B e ponto máximo de 90% de 290° para o combustível diesel tipo A.

As exigências de volatilidade do combustível também dependem do desenho e tamanho do motor, da natureza das variações de velocidade e carga, e das condições de partida e atmosféricas. Para um motor em serviços que envolvam cargas e velocidades flutuando rapidamente, os combustíveis mais voláteis proporcionam um desempenho melhor, particularmente com respeito à fumaça e odor. Entretanto, uma melhor economia de combustível é geralmente obtida a partir dos tipos mais pesados de combustível devido a seu teor mais elevado de energia (EASTLACK, 2011).

2.3.3 Viscosidade

Viscosidade é uma medida da resistência de um líquido ao fluxo. Alta viscosidade significa que o combustível é espesso e não flui facilmente. O combustível com viscosidade errada (ou alta ou baixa de mais) pode causar danos ao motor ou ao sistema de combustão.

O combustível com alta viscosidade aumenta o desgaste do trem de engrenagens, do came e da placa de pressão no conjunto da bomba de combustível devido à pressão de injeção mais elevada. O combustível atomiza menos eficientemente e o motor fica mais difícil de dar a partida (EASTLACK, 2011).

O combustível de baixa viscosidade não proporciona a lubrificação adequada dos êmbolos, cachimbos e injetores, e seu uso deve ser avaliado cuidadosamente.

A viscosidade do combustível afeta a atomização e a taxa de distribuição do combustível. A viscosidade do combustível diesel é normalmente especificada a 40°C. Os combustíveis com viscosidades acima de 5,5 centistokes a 40° são limitados ao uso em motores de baixa velocidade, e podem exigir preaquecimento para injeção. O

CGSB tem uma faixa de viscosidade de 1,30-3,60 para o combustível Tipo A, enquanto que a faixa é de 1,70-4,10 para o combustível Tipo B.

Para alguns motores, é vantajoso especificar uma viscosidade mínima, devido à perda de força devido à bomba de injeção e vazamento do injetor. A viscosidade máxima, por outro lado, é limitada por considerações envolvidas no desenho e tamanho do motor, à temperatura do combustível e às características do sistema de injeção (EASTLACK, 2011).

2.3.4 Lubricidade do combustível

Alguns processos usados para dessulfurizar o combustível diesel, se forem severos o bastante, podem também reduzir as qualidades de lubrificação naturais do combustível diesel. Como os motores exigem que o combustível diesel aja como um lubrificante para seus sistemas de injeção, o combustível diesel deve ter lubricidade suficiente para dar a proteção adequada contra o desgaste excessivo do sistema de injeção. Acham-se disponíveis aditivos que podem melhorar a lubricidade do combustível diesel, entretanto esses aditivos podem ter efeitos colaterais indesejáveis quando usados em concentrações excessivas ou em combinação com outros aditivos (EASTLACK, 2011).

2.3.5 Ponto de Inflamação (*Flash Point*)

O ponto de inflamação é determinado aquecendo-se o combustível em uma pequena câmara hermética até os vapores entrarem em ignição quando uma pequena chama é passada sobre a superfície do líquido. A temperatura do combustível nesse ponto é o ponto de inflamação, ou ponto de fulgor. O ponto de inflamação de um combustível diesel não tem relação com seu desempenho em um motor, nem em suas qualidades de auto-ignição. Ele tão somente proporciona uma checagem útil sobre os contaminantes suspeitados tais como gasolina, pois uma pequena proporção de gasolina, digamos, de 0,5%, pode diminuir muito marcadamente o ponto de inflamação do combustível.

Os regulamentos de transporte por navio, armazenagem e manejo estabelecem um ponto de inflamação mínimo de 40°C. Este é um aspecto muito importante relacionado às exigências legais (tais como os regulamentos de Transporte de

Mercadorias Perigosas (TDG) e às precauções de segurança envolvidas no manejo e armazenagem, sendo exigido cumprir as normas de segurança e incêndio (EASTLACK, 2011).

2.3.6 Teor de enxofre

O enxofre presente no combustível diesel pode causar a formação de depósitos na câmara de combustão, corrosão do sistema de exaustão e desgaste dos pistões, anéis e cilindros, particularmente às temperaturas da camisa de água. A tolerância ao enxofre por um motor depende do tipo do mesmo, do tipo de serviço e do óleo lubrificante utilizado (EASTLACK, 2011).

2.3.7 Resíduos de carbono

O resíduo de carbono dá uma medida das tendências de deposição de carbono de um combustível diesel após a evaporação e a pirólise sob as condições prescritas. Embora não se correlacionem diretamente aos depósitos nos motores, esta propriedade deve ser considerada como um guia (EASTLACK, 2011).

2.3.8 Cinza

O material formador de cinzas pode estar presente no combustível diesel de duas formas: (1) sólidos abrasivos e (2) sabões metálicos solúveis. Os sólidos abrasivos contribuem para o desgaste do injetor, bomba de combustível, pistão e anel, e também para os depósitos do motor. Os sabões metálicos solúveis têm pouco efeito no desgaste, mas podem contribuir para os depósitos no motor (EASTLACK, 2011).

2.3.9 Acidez

A acidez do combustível diesel, se não for controlada, pode causar má estabilidade do combustível, corrosão do aço doce, e formação de depósito em alguns tipos de equipamento de injeção de combustível (EASTLACK, 2011).

2.3.10 Condutividade elétrica

A capacidade de um combustível dissipar a carga elétrica que tenha sido gerada durante as operações de bombeamento e filtragem é controlada por sua condutividade. Se a condutividade de um combustível for suficientemente alta, a carga eletrostática se dissipa rápido o bastante para evitar seu acúmulo e potenciais elétricos perigosamente elevados serão evitados (EASTLACK, 2011).

2.3.11 Estabilidade térmica

A transferência de calor é uma função do projeto de combustíveis diesel em muitos motores diesel modernos. Somente uma parte do combustível que é circulado e pressurizado pelo sistema de injeção de combustível é realmente queimada. O restante do combustível é reciclado voltando ao tanque de combustível. A temperatura bruta do combustível pode estar bem acima dos níveis do ambiente. A estabilidade da alta temperatura de um combustível diesel pode resultar na formação de produtos de degradação insolúvel que podem causar obstrução dos filtros (EASTLACK, 2011).

Sob temperaturas mais frias, a reciclagem de combustível aquecido de volta para um tanque de combustível mais frio, pode causar problemas de condensação, que podem levar ao aumento da mistura livre no combustível. Este problema pode levar à obstrução dos filtros e precisar da manutenção de frequência mais alta do filtro separador ou dos drenos (EASTLACK, 2011).

2.4 Normas internacionais sobre combustível Diesel

A Organização Marítima Internacional (IMO) recentemente adotou medidas obrigatórias para reduzir os gases estufa, as quais foram adotadas por todas as partes e introduzidas como o Anexo VI MARPOL, expedido pelo Comitê de Proteção Ambiental Marítima daquela Organização. Este esforço representou o primeiro regime de redução de gás estufa global obrigatório já feito por um setor da indústria internacional (EASTLACK, 2011).

Figura 4: OSV (Offshore Service Vessel) acionado por LNG.



Fonte: Rolls Royce, In Deboth / Eastlack (2011)

As emendas aos Regulamentos do Anexo VI MARPOL para a prevenção da poluição do ar vindo de navios inclui um novo capítulo (capítulo 4) aos Regulamentos do Anexo VI sobre eficiência da energia para novos navios para atender a um Índice de Desenho de Eficiência de Energia (EEDI) para navios novos, e o Plano de Gerenciamento da Eficiência da Energia de Navios (SEEMP) para todos os navios. Outras emendas ao Anexo VI adicionaram novas definições e exigências para inspeção e certificação, incluindo o formato de um novo Certificado de Eficiência de Energia Internacional (IMO).

O novo Certificado de Eficiência de Energia Internacional (IEEC) será introduzido em todos os navios também. Ele irá incluir um suplemento para gravação de dados particulares relacionados à eficiência de energia do navio, tais como o sistema de propulsão. Um novo navio é definido como um navio com mais de 400 GT (Gross Tonnage) Toneladas Brutas, quando o contrato de construção for fechado em ou após 1º de janeiro de 2013 ou, na ausência de um contrato de construção, a quilha for colocada em ou após 1º de junho de 2013 ou a entrega da embarcação for após 1º de junho de 2015. O projetista do navio terá que desenvolver um arquivo técnico do Índice do Desenho de Eficiência de Energia (EEDI), contendo a documentação e os cálculos necessários. Uma verificação preliminar do desenho será feita baseada em testes do tanque, dados dos fabricantes e particularidades do desenho. Por ocasião do lançamento ao mar, a velocidade do navio será medida e o arquivo técnico para o navio será atualizado junto com os certificados do motor e outras documentações

necessárias. O arquivo técnico EEDI precisará ser verificado por uma administração de bandeira ou uma organização reconhecida e o IEEC será emitido. Esses regulamentos se aplicarão a todos os navios de 400 toneladas brutas e acima, e se espera que entrem em vigor em 1º de janeiro de 2013 (EASTLACK, 2011).

O EEDI deixa a opção das tecnologias por conta do proprietário ou projetista do navio, desde que o nível de eficiência de energia exigido seja atingido. Os projetistas e construtores do navio ficarão livres para usar as soluções mais custo-eficientes para o navio atender aos regulamentos. O Plano de Gerenciamento da Eficiência de Energia de Navios (SEEMP) se aplica aos navios novos e existentes. O SEEMP constitui um mecanismo para os operadores de embarcações usarem e melhorarem a eficiência de energia no navio. Este SEEMP deve ser preparado para cada navio e é personalizado para o tipo do navio e seu perfil operacional. O desenvolvimento de um SEEMP deve traçar a experiência organizacional do proprietário do navio e ser designado para atender às exigências do IMO e, finalmente, resultar na redução de gás de estufa almejada (EASTLACK, 2011).

3 TECNOLOGIAS MAIS RECENTES

3.1 Motor de deslocamento lento MAN S90MEC9.2

Os operadores de navios contêineres, em sua busca pelo consumo mais baixo possível de óleo combustível sob qualquer carga do motor, receberam com muito interesse as notícias da *MAN Diesel & Turbo* no sentido de que o primeiro motor de dois tempos de grande porte de tempo super longo especificamente projetado para essas embarcações, o S90MEC9.2, acaba de passar com sucesso pela experiência no banco de ensaio da Divisão de Motores e Maquinários da *Hyundai Heavy Industries* (BACKWELL, 2012a).

Figura 5: Motor marítimo a diesel MAN S90ME-C9.2.



Fonte: Foto da *Man Diesel & Turbo* / Backwell, 2012a

O novo motor, de tamanho reduzido para as salas de máquinas de um navio contêiner (embora seja já verdade o maior que já foi projetado pela MAN) é baseado no motor VLCC otimizado S90ME-C8, uma vez que os operadores estão visando reduzir os custos operacionais através do deslocamento lento, eliminação do turbo-carregador e otimização do motor de carga baixa, itens esses que são todos oferecidos pelo novo motor (BACKWELL, 2012a).

3.1.1 SFOC otimizado (Consumo específico de óleo combustível)

Os motores principais de dois tempos de baixa velocidade da MAN existentes, do tipo MC, com eixo de comando de cadeia, têm flexibilidade limitada com relação à injeção de combustível e a ativação da válvula de exaustão, que são os dois fatores

mais importantes do ajuste do motor para combinar com as condições de operação prevalentes (BACKWELL, 2012a).

Um sistema com ativação hidráulica controlada eletronicamente proporciona a flexibilidade requerida, e um sistema assim forma o núcleo do "Sistema Controle Motor" da EM.

As funções de controle são exercidas sobre o booster de pressão do combustível, onde a pressão do óleo é controlada por uma válvula proporcional controlada eletronicamente; a válvula de exaustão, que é aberta hidráulicamente por meio de um ativador de dois estágios (e fechada por uma "mola de ar"), e as válvulas de partida, que são abertas pneumaticamente por válvulas "Liga/Desliga" controladas eletronicamente (BACKWELL, 2012a).

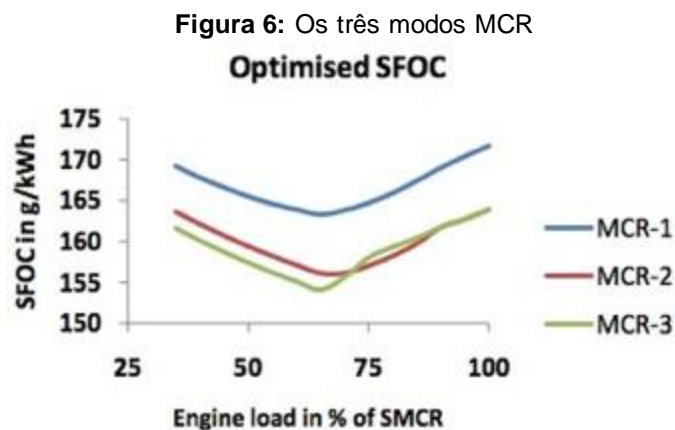
No sistema hidráulico, o óleo lubrificante normal é usado como mídia, filtrado e pressurizado por uma unidade de Fornecimento de Corrente Hidráulica, montada sobre o motor ou colocada em algum outro ponto da sala de máquinas.

Pelo controle eletrônico de cada uma dessas válvulas, de acordo com a posição do eixo de mudança instantâneo medida, o Sistema de Controle Motor controla assim totalmente o processo de combustão.

3.1.2 SFOC (Consumo de Óleo Combustível Otimizado) Otimizado

Em seu esforço para reduzir o CO₂ e ao mesmo tempo o consumo de combustível, os proprietários de navios sentem a necessidade, em termos de desafios econômicos, de operar seus navios a uma velocidade náutica reduzida e conseqüentemente de reduzir a carga do motor, o que demanda maior flexibilidade operacional do motor.

Esta flexibilidade é obtida no novo motor por meio de diferentes "Modos de Marcha do Motor", que são selecionados automaticamente, dependendo das condições de operação, ou manualmente pelo operador, para atender a metas específicas. O modo de marcha básico é o "modo de Economia de Combustível", para atender às limitações de emissão de NO_x da International Maritime Organization – IMO (BACKWELL, 2012a).



Fonte: Gráfico por cortesia da *MAN Diesel & Turbo / Backwell*, 2012a.

O motor é entregue com as três otimizações MCR (Cotação contínua máxima) diferentes seguintes, como mostrado acima:

- 1) MCR de alta cotação com otimização parcial da carga
- 2) Otimização MCR de potência reduzida com ajuste parcial da carga
- 3) Otimização MCR de potência reduzida com ajuste baixo da carga (BACKWELL, 2012a).

O motor S90-C9.2 é uma unidade na verdade bastante grande e que irá produzir um torque de 8,5 milhões de Nm a 84 rpm e uma saída total de 69.720 kW. Ele será instalado em um navio contêiner construído na fábrica das Indústrias Pesadas Samsung para a Linha de Contêineres *Orient Overseas*, baseada em Hong Kong.

3.2 Motor de ignição por centelha de gás natural de queima pobre e velocidade média (ciclo OTTO)

O Bergen B35:40 é um bom exemplo de um motor de ignição por centelha de gás natural de pobre de ciclo Otto atualmente disponível com saída de até 7MW. As emissões desse motor atendem a todas as exigências atuais e futuras para incluir o Tier 4 sem pós-tratamento. O motor a gás de ignição de centelha de queima pobre Bergen opera de acordo com o Ciclo Otto, usando uma mistura pobre de gás e ar à medida que este é comprimido e entra em ignição detonado por um sistema elétrico. Este é um motor "somente a gás" e que precisa ser configurado com motores a diesel

menores como back up, como os conjuntos geradores de 1500 KW, na Figura 7 (EASTLACK, 2011)

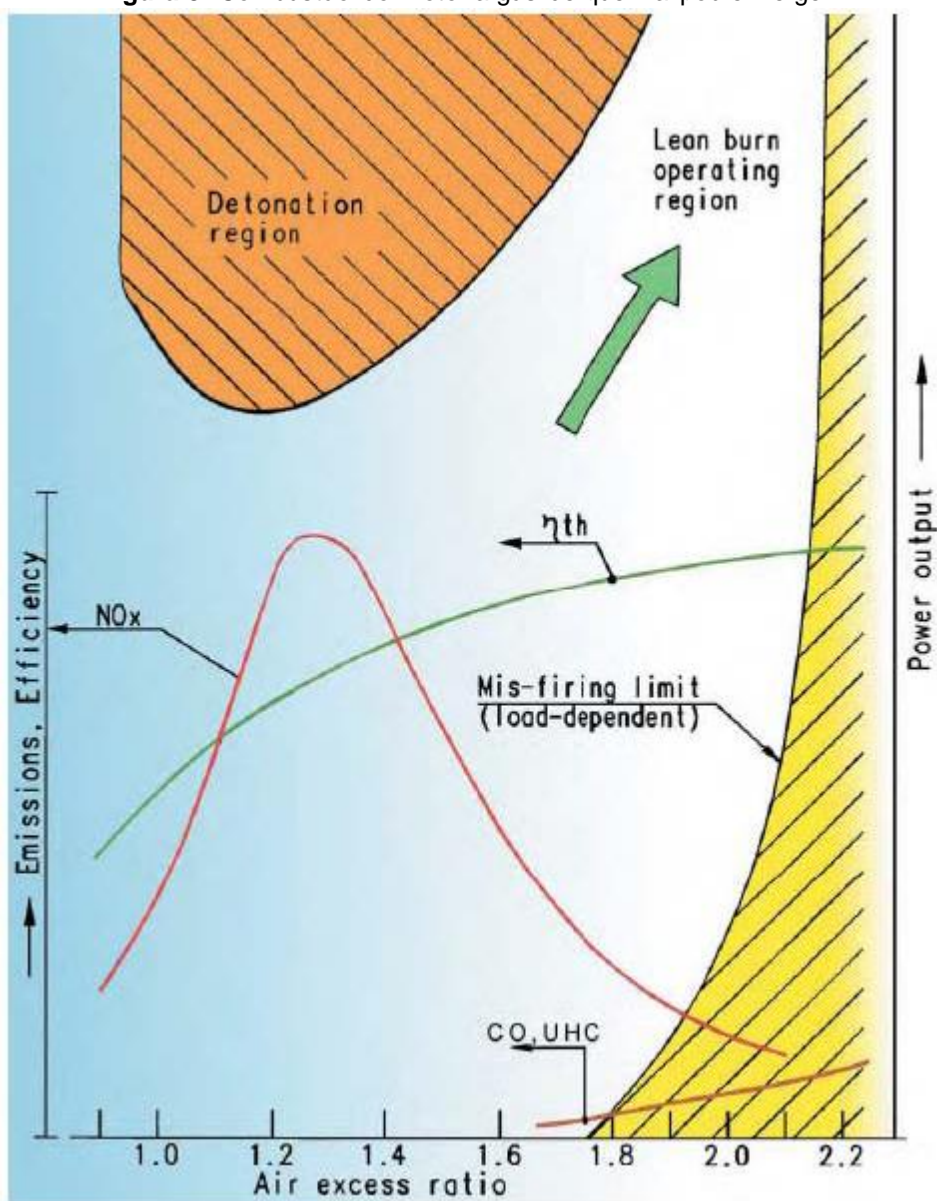
Figura 7: Motor a gás de queima pobre Bergen. Recuperado de motor a gás Bergen B35:40



Fonte: *Rolls Royce Power Engineering*, junho de 2009 / EASTLACK, 2011.

Um motor de queima pobre opera com proporções de excesso de ar de 1,8 ou mais, e, como mostrado na ilustração, isto oferece maior potência, eficiência e emissões de NOx reduzidas. Isto é atingido pela melhora do sistema de combustão, de forma que a energia de ignição é capaz de disparar essas misturas pobres de forma confiável. Adicionalmente, um sistema de turbo carga altamente eficiente é usado para aproveitar o possível aumento de potência oferecido pelo limite de ativação de misturas pobres (EASTLACK, 2011).

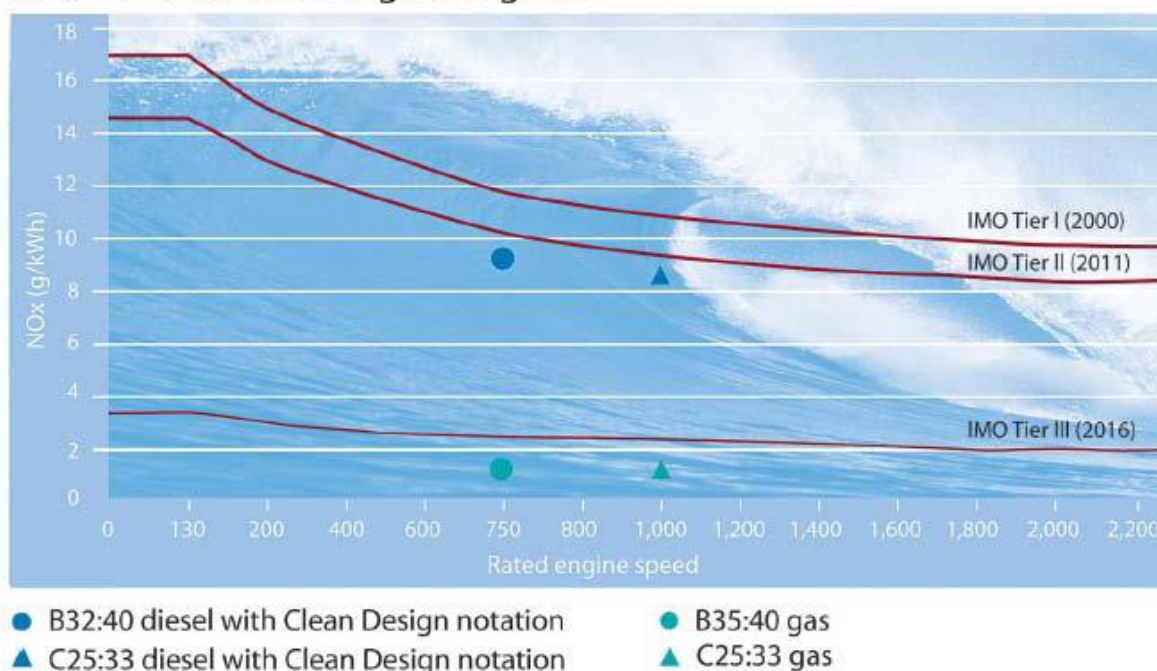
Figura 8: Combustão do motor a gás de queima pobre Bergen.



Fonte: "Bergen B35:30 engine", Rolls Royce Power Engineering 2009 / EASTLACK, 2011.

Figura 9. Diagrama de dados da emissão de NOx para motores a gás x diesel, comparavelmente dimensionados.

NOx emission for Bergen engines



Fonte: "Bergen B35:40 gas engine", *Rolls Royce Power Engineering*, 2009 / EASTLACK, 2011.

3.2.1 Emissão de NOx para os motores Bergen

O ar é insuflado pelo turbocarregador através do resfriador de ar de carga e para dentro do cilindro. Uma válvula de gás mecânica temporizada injeta o gás na admissão da corrente de ar para assegurar uma mistura homogênea e pobre de ar e gás. O fluxo de ar é controlado pela geometria variável da turbina do turbocarregador enquanto que o fluxo de gás é controlado pelas válvulas mecânicas antes de cada cilindro. A pressão do gás é ajustada eletronicamente pela válvula reguladora de pressão no módulo de alimentação de gás, à frente do motor. Uma air flap para cada cilindro restringe o fornecimento de gás durante a partida e a operação com carga baixa. Como a pressão no cilindro é baixa, o gás é admitido na pequena pré-câmara em cada cabeçote do cilindro, eletronicamente controlado pela unidade de pressão da pré-câmara (EASTLACK, 2011).

Durante a compressão, a carga pobre no cilindro é parcialmente impulsionada para dentro da pré-câmara, onde ela se mistura com o gás puro, para formar uma mistura rica que se inflama facilmente pelo plug de centelha. Esta poderosa energia de ignição vinda da pré-câmara assegura a fácil e completa combustão da carga principal no cilindro (EASTLACK, 2011).

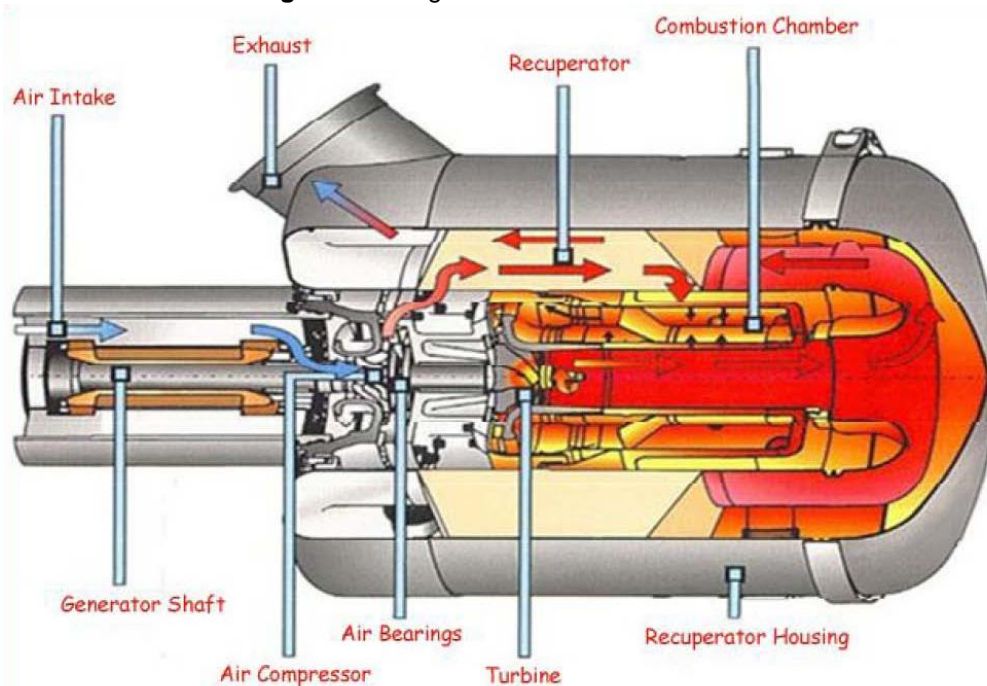
O gerenciamento eletrônico avançado do motor assegura que os parâmetros de operação do motor sejam ajustado e otimizados um em relação ao outro. O sistema estabelece as pressões de gás ótimas, principal e da pré-câmara; a posição do rack de combustível, o tempo de ignição e a posição do acelerador. A parte do alarme e de monitoração do sistema possui muitas funções de segurança residentes, combinando operação segura com alta disponibilidade, protegendo o motor e sinalizando qualquer defeito. Ela inclui um sistema de detecção de não-queima, baseada na análise dos parâmetros operacionais diferentes e no sistema de detecção de ativação. O sistema detecta e elimina a ativação individualmente para cada cilindro. O sistema completo de gerenciamento, controle e monitoração do motor fica instalado em uma cabine junto ao motor e se comunica com o controle da planta através de um único cabo (RR) (EASTLACK, 2011).

3.3 Microturbinas *Capstone*

As microturbinas *Capstone* são pequenas turbinas recuperadoras de gás que utilizam um mancal de ar patenteado, que proporciona uma operação livre de combustível (sem água de resfriamento ou óleo lubrificante) por toda a vida útil da turbina.

A turbina também tem custo do ciclo de vida baixo, quando comparada com um motor de reciprocidade tradicional e normalmente funciona de cinco a sete anos ou 40.000 horas antes que uma revisão geral seja necessária, baseada nos dados referentes às instalações atuais. Os módulos de corrente, tais como o C200, são verdadeiras obras-primas, digitalmente controlados, turbinas refrigeradas a ar com avançados controles de combustão para emissões ultrabaixas. O motor da turbina tem mancais de ar comprimido para proporcionar alta confiabilidade, baixa manutenção e operação segura. Isto permite o emprego de menos peças e a ausência de qualquer lubrificação líquida para apoio do grupo giratório. Quando a turbina está operando, uma lâmina de ar separa o eixo dos mancais e protege-os do desgaste.

Figura 10: Diagrama de uma microturbina.



Fonte: Capstone Micro Turbine, 2011 / EASTLACK, 2011.

Tabela 1: Dados de emissões da microturbina *Capstone* (g/hp/h)

Modelo	Combustível	Nox	CO	VOC
C30 NG	Gás natural	0,22	0,60	0,078
CR30 MBTU	Gas de aterro	0,22	7,4	0,340
CR30 MBTU	Gas digestor	0,22	3,7	0,340
C30 Liquid	Diesel #2	0,90	0,14	0,078
C65 NG Standard	Gás natural	0,16	0,42	0,034
C65 NG Low NOX	Gás natural	0,06	0,44	0,034
C65 NG CARB	Gás natural	0,06	0,08	0,017
CR65 Landfill	Gás de aterro	0,16	1,4	0,034
CR65 Digester	Gás digestor	0,16	1,4	0,034
C200 NG	Gás natural	0,14	0,37	0,034
C200 NG CARB	Gás natural	0,05	0,07	0,014
CR200 Digester	Gás digestor	0,14	1,3	0,034

Fonte: Eastlack, 2011.

A turbina *Capstone* é projetada para produzir emissões muito limpas. A exaustão é limpa e rica em oxigênio (aproximadamente 18% O₂), com níveis muito baixos de poluentes do ar. Como toda tecnologia de combustão, a turbina produz emissões (como dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono), vindos do processo

de combustão. A turbina tem, entretanto, nível de emissão (CMT) de dióxido de nitrogênio (NO₂) ultrabaixo e nível muito baixo de emissão de monóxido de carbono (CO).

As turbinas da série C1000 podem ser encontradas com dois tipos de invólucro. Os invólucros são adequados à instalação externa e as unidades são empilháveis. As dimensões externas de todas as turbinas da série C1000 têm aproximadamente 30 pés de comprimento, 8 pés de largura e 9,5 pés de altura. Elas se acham também disponíveis em pacotes padrão ou para muita unidade, para operarem em ambiente marítimo.

3.4 LNG – gás natural líquido

Os navios mercantes nas Áreas de Controle de Emissão MARPOL V1 (SECA) têm que queimar combustíveis e destilados com baixo teor de enxofre, ou óleo combustível pesado mais um limpador de gás de exaustão, ou ainda LNG, para poderem atender aos regulamentos de emissão de gás de exaustão – simples assim. Os dois primeiros itens se encontram prontamente disponíveis no mundo inteiro, mas não o gás natural líquido (LNG). Nas duas últimas semanas do mês de abril de 2012 as mentes dos interessados se concentraram em locais distantes meio mundo, nas formas de produzir o LNG com suas características de emissão de gás de exaustão mais limpas, e (provavelmente) um preço mais baixo, mais amplamente disponível (BACKWELL, 2012b).

3.4.1 Abastecimento de LNG na Europa

A Organização Europeia de Portos Marítimos (ESPO) reuniu-se em princípios de 2012 em *Zeebrugge*, Bélgica, como um grupo de cinquenta profissionais para considerar aspectos de segurança do abastecimento de combustível com LNG, e nesta reunião ficou claro que diversos portos dentro da área SECA Europeia já estão bem avançados na instalação de estações de abastecimento de combustível, com o fornecimento feito principalmente por meio de chatas de abastecimento especiais.

Pensando claramente, a Noruega, que incidentalmente dispõe dos maiores depósitos naturais de LNG, lidera o campo em sua extração do combustível. No

presente, existem 25 navios abastecidos com LNG operando na Área de Controle de Emissão do Mar Báltico e do Mar do Norte (BACKWELL, 2012b).

Trond Giske, ministro norueguês do Comércio e Indústria, descreve o problema de infraestrutura do abastecimento de LNG como algo parecido com um dilema – os distribuidores de abastecimento não querem estabelecer uma rede de fornecimento até que haja demanda suficiente pela navegação, e do outro lado, a navegação não pode mudar para LNG sem uma infraestrutura de fornecimento. É um problema do tipo "o ovo ou a galinha", resolvido na Noruega com a alocação de fundos vindos do orçamento nacional para a companhia de desenvolvimento de energia limpa Enova, para assentar a infraestrutura de gás natural necessária (BACKWELL, 2012b).

Nesse meio tempo, a DNV ¹ - *Det Norske Veritas* hospedou a Conferência de Gerenciamento de Risco de Processos e Bens (PARC) em Bruxelas, que focalizou sua atenção nas oportunidades do LNG, com a notícia de que a Antuérpia, *Zeebrugge* e *Ghent* tinham se somado à lista de portos europeus, fazendo um investimento em instalações de abastecimento de LNG, juntando-se aos já existentes na Holanda, Suécia, Finlândia e Polônia (BACKWELL, 2012b).

¹ A DNV é uma fundação independente que tem como objetivo salvaguardar a vida, a propriedade e o ambiente e que é um provedor líder de serviços em gerenciamento de risco. A DNV tem cerca de 300 escritórios em 100 diferentes países. O escritório central fica em Oslo, Noruega, e a DNV opera em múltiplas indústrias internacionalmente e tem uma forte presença no mercado e uma grande base de clientes nos setores de óleo e gás, processamentos e transportes. (<<http://www.intsok.no/?id=193>>).

Figura 11: Instalações de LNG no porto de Zeebrugge, Noruega.



Foto: Cortesia do *Lloyd's Register / Backwell*, 2012b

3.4.2 Abastecimento de LNG no Sudeste asiático

Se a Europa está liderando, Singapura, eixo do abastecimento regional Ásia-Pacífico quer pegar a posição. Sua Autoridade Marítima e de Portos (MPA) estabeleceu um Projeto de Indústrias Conjugadas gerenciado pela DNV no princípio deste ano, para investigar a viabilidade operacional de abastecimento de LNG em Singapura, com financiamento do fundo MINT – Fundo de Inovação e Tecnologia Marítima, do MPA (BACKWELL, 2012b).

Tal como se deu na Europa, a barreira-chave para a adoção mais ampla do LNG como combustível de navios foi reconhecida como sendo uma infraestrutura de abastecimento imatura. Foi principalmente para abordar esse assunto que o MPA estabeleceu seu projeto JIP, que inclui a participação de uma lista de nomes familiares de *stakeholders* da indústria de navegação.

O Dr. Anthony Barker, gerente geral da *BG Singapore Gas Marketing*, e Presidente do Comitê Administrativo do JIP declarou: "Este JIP é um exemplo de livro escolar de como a indústria e os reguladores podem trabalhar estreitamente juntos

para acelerar a implementação de novas tecnologias e soluções da indústria que um ator sozinho não conseguiria acelerar".

A despeito desse pensamento, a resolução do problema "do ovo ou a galinha" da infraestrutura de abastecimento de LNG deveria preferencialmente ser antecipado, como foi pelos líderes noruegueses da LNG, com a alavancagem financeira por parte de um governo interessado (BACKWELL, 2012b).

3.5 Teste de combustível de motores diesel marítimos

Os testes de óleo combustível e lubrificante provam ser válidos os conselhos dados pelas companhias especialistas em análises químicas *Lintec* e *Intertek*, quando anunciaram em princípio de março de 2012 sua parceria para fornecer um serviço para ajudar a guardar os operadores navais em todo o mundo contra os perigos de usar óleos fora das especificações. Este artigo de Backwell (2012) ilustra o ponto de vista daquelas empresas.

Toda a frota de um armador baseado em Hamburgo foi colocada no programa químico da *Lintec*. Em um dos navios, sob frete de longo prazo, a análise de uma mostra de combustível revelou que combustível de navio abastecedor contendo DCPD (díciclopentadieno) e estireno tinha sido tomada a bordo; o fretador sendo devidamente informado dos riscos inerentes para o motor do navio que poderiam surgir destas células do abastecimento. Logo em seguida, dificuldades operacionais, incluindo filtro de óleo bloqueados, foram relatados em um montante tal que o combustível teve que ser bombeado para fora e substituído no próximo porto da rota. Foram efetuadas análises laboratoriais posteriores para determinar os níveis exatos de contaminação, com resultados que persuadiram o fretador a aceitar a responsabilidade financeira por todos os custos incorridos (Backwell, 2012c).

Figura 12: Barcaça abastecedora de óleo combustível.



Fonte: Wikipedia CCL DKrieger / Backwell (2012c).

3.6 Contaminação por óleo combustível

3.6.1 Um Problema Global

A contaminação por óleo combustível não é limitada aos portos de abastecimento existentes em todo o mapa. Um especialista em análise química no campo, o químico naval guardial baseado nos Estados Unidos declarou que as amostras de óleo combustível de baixo enxofre com níveis de DCPD na faixa de 200 ppm a 600 ppm, e estireno de 500 ppm a 2.200 ppm foram encontradas em estações de abastecimento na costa do Golfo dos Estados Unidos. Nesses níveis e mais baixos, os navios tinham sofrido sérios danos ao motor, registrados, não apenas em termos de filtros bloqueados, mas também com custos maiores, como purificadores bloqueados, anéis de pistão quebrados e bombas de combustível travadas (BACKWELL, 2012c).

Interessante observar que a Guarda Costeira aponta que altos níveis desses contaminantes têm sido encontrados exclusivamente nas amostras de LSFO – *Low Sulphur Fuel Oil* – Óleo Combustível de Baixo Teor de Enxofre, ao passo que, bastante estranhamente, o óleo combustível pesado (alto teor de enxofre) estava livre de DCPD e estireno naquela área específica. Eles pensam que um estoque redutor com baixo teor de enxofre contendo restos de refinaria possa ter sido usado para ser misturado ao combustível para que fosse obtido um teor de enxofre <1,5%, em cumprimento às especificações da MARPOL (BACKWELL, 2012c).

Nas notas sobre sua ligação a *Lintec/Intertek* revela que um sistema de gerenciamento de laboratório baseado na internet, um recurso de seu "Programa de Serviços *ShipCare*" oferece um processo eficiente e acelerado para testar o combustível de abastecedores, visando minimizar os danos aos motores de navios, o tempo e os custos para reparos, bem como ajudar a evitar as custosas infrações relacionadas às emissões de gás de exaustão. Os relatos da análise de combustível vêm com comentários completos da engenharia e, no caso do combustível fora das especificações, com recomendações pelos especialistas industriais da Intertek (BACKWELL, 2012c).

4 INOVAÇÕES PIONEIRAS

4.1 Motor *Wartsila 32*

"A joia da Coroa", foi como *Bjorn Rosengren*, presidente da *Wartsila Corporation* descreveu o motor diesel naval de velocidade média *Wartsila 32*, fabricado por sua companhia, no decorrer de uma entrevista sobre assuntos variados concedida recentemente ao *Maritime Reporter*. Ele fez essa referência no contexto de que a *Wartsila* está atualmente construindo uma nova fábrica em *Joint-venture* em *Nantong* para a montagem dos motores *Wartsila 32* e *Wartsila 26*, para o mercado chinês. Que ele fique orgulhoso de colocar o motor de quatro marchas de cilindro de 320 mm entre os tesouros da *Wartsila* em termos de bens de potência de propulsão não é de surpreender, se lembrarmos que este motor tem representado um papel vital na história de sucesso internacional da *Wartsila*, como veremos a seguir (BACKWELL, 2012e).

Figura 13: O motor diesel naval *Wartsila 32*: a "joia da Coroa".



Fonte: Wartsila Corporation (2018)

4.1.1 Desenvolvimento do motor *Wartsila 32*

Cerca de 40 anos atrás a *Wartsila Diesel* decidiu desenvolver um motor diesel de velocidade média projetado para funcionar com óleo combustível de baixo preço e, em 1978, o primeiro modelo de produção do motor *Vasa 32* foi instalado. Este motor

foi o pioneiro no desenvolvimento de motor a óleo combustível pesado de quatro marchas e seu sucesso posicionou a *Wartsila* como um dos maiores fabricantes internacionais de motores.

Subjacentes ao desenho do Vasa 32 estavam inovações que desde então se tornaram recursos padrões dos motores de velocidade média; alicerces que asseguraram um upgrade em 1997 com um curso do pistão mais longo, com 400 mm, que com outros recursos do desenho adicionaram para chegar a uma saída mais alta (460kW/cilindro a 750rev/min ou uma pressão efetiva média de 22,9bar), para dar uma faixa de potência de até 8280 kW em várias configurações in-line e do tipo V.

4.1.2 Última geração de *Wartsila* 32

No final do ano de 2010 uma nova versão mais avançada do motor *Wartsila* tipo 32 foi lançada com uma saída de potência aumentada de 580 kW por cilindro a 750 rpm (a versão de 50 Hz), o que dá um aumento de 15 por cento de saída de potência em relação ao motor 32 anterior, embora com as mesmas dimensões externas, elevando a faixa de potência máxima para 9300 kW.

A *Wartsila* diz que esta última geração do motor tipo 32 é adequada a navios operando no ECA, pois ele também pode operar com combustíveis de baixo teor de enxofre (<0,1%S), e além disso o motor se torna conforme o IMO Tier III imediatamente, se for equipado com um catalisador SCR, como o reduzir de óxido de nitrogênio *Wartsila* (que pode reduzir as emissões de NOx em até 95 por cento), embora a versão padrão atenda aos regulamentos Tier II.

O *Wartsila* tornou-se o mais versátil dos motores (muitos em plantas baseadas em terra) como um motor principal ou auxiliar para navios tanques poderosos, navios de contêineres e navios de suporte offshore e de perfuração; a *Wartsila* proclama ser ele o motor mais favorecido no seu tamanho, para cruzadores acionados a diesel-elétrico e navios de transporte de passageiros. No momento de sua última atualização, seus fabricantes declararam que mais de 4.000 unidades tinham sido vendidas somente para a indústria naval; razão suficiente para a satisfação do presidente da *Wartsila*.

Figura 14: Motores *Wartsila 32* – Navio de passageiros *Finnmarken*.



Fonte: Lukas Riebling / Blackwell 2012e

4.2 Nova geração *Scania* de motores diesel marítimos para dupla de lançamento em praia RNLI

A *Scania* anunciou no último mês que após cinco anos de pesquisa e desenvolvimento eles estavam implementando uma plataforma de motor global unificado baseada na última tecnologia para todos os mercados e para todos os padrões de emissão. Um desses motores da nova geração, o *Scania* diesel marítimo de 13 litros foi escolhido pela RNLI – *Royal National Lifeboat Institution*, para acionar sua embarcação salva-vidas para qualquer clima Shannon, a ser lançada brevemente (Backwell, 2011a).

O barco de socorro será acionado por dois motores marítimos *Scania* de 13 litros, cada um deles cotado a 650 hp. O desenho inteiro desses motores é modular, projetado para permitir a fácil manutenção e rapidez no desempenho pelos operadores. Interessantes frisar que a *Scania* diz que a grande maioria de seus motores diesel pode operar com até 100% de combustível biodiesel.

Figura 15: Motor diesel marítimo *Scania* de 13 litros da nova geração.



Fonte: *Scania*. Backwell, 2011.

Mikael *Lindner*, Diretor de Vendas da *Scania* revelou que a RNLI e a *Scania* da Grã-Bretanha trabalharam juntas até encontrar a melhor solução possível para seus navios salva-vidas. A escolha recaiu sobre o novo motor marítimo de 13 litros (em combinação com transmissão de disco dupla e unidades de jato de água *Hamilton*), para prover a RNLI com a melhor confiabilidade e economia de operação possíveis nos próximos anos (Backwell, 2011a).

4.2.1 RNLI Classe *Shannon*, Trator de Lançamento e Recuperação *Supacat*

A Classe *Shannon* será empregada principalmente em colocar no mar a partir de umas vinte e quatro posições nas praias em torno do Reino Unido e nas costas da Irlanda, onde elas irão substituir gradualmente os barcos de classe *Mersey* lançados por carretas existentes. Com exclusividade, então, os *Shannons* serão lançados e recuperados, não por carreta, mas pelo engenhoso veículo de lançamento e tração de recuperação *Supacat*, que também é acionado pelo motor *Scania* da nova série; um casal que presume-se que irá proporcionar aos operadores benefícios adicionais de sobressalentes compartilhados e compatibilidade de serviços (Backwell, 2011a).

Figura 16: Protótipo do FCB2 do RNLI no *Supacat* em *Hoylake*, Nr *Liverpool*



Fonte: RNLI/Backwell, 2011

O primeiro barco, cujo casco foi montado pela *SAR Composites Ltd.*, subsidiária da RNLI) fará sua viagem experimental ao mar no próximo ano e quatro outros barcos deverão entrar em serviço até o ano de 2015. A embarcação terá uma velocidade de serviço de 25 kts, com estabilidade dinâmica suficiente para retornar à posição certa, se capotar. A tripulação será de seis pessoas, sendo um médico, com recinto para seis sobreviventes, e terá combustível (com 10% de reserva) suficiente para dez horas de operação.

A dupla, um prototipo *Shannon*, conhecido como FCB 2, com sua unidade de lançamento e recuperação, o trator auxiliar *Supacat*, está atualmente percorrendo diversas estações salva-vidas RNLI para avaliar a execução de lançamento e recuperação em mar aberto com diferentes composições, gradientes e faixas de maré (Backwell, 2011a).

4.3 Primeiro PSV de combustível duplo LNG no horizonte

É uma questão de tempo, e não de possibilidade, para que o LNG – Gás natural líquido fique sendo uma fonte de combustível comumente selecionada, e será preciso que se possa contar com uma base sólida para os desenhos de navios. Este é o pensamento expresso de *Christopher J. Wiernicki*, Presidente da ABS alguns meses

atrás, quando anunciou o lançamento por sua sociedade de classificação de um guia técnico para a instalação de motores de propulsão e auxiliares LNG em navios (Backwell, 2011b).

Na sequência dos acontecimentos, a *Harvey Gulf Corp.* disse que a próxima fase de suas construções "verdes" irá incluir dois Navios de Abastecimento de Plataformas de combustível duplo (PSV), que terão a honra de tornar-se os primeiros PSV com bandeira norte-americana a serem acionados com LNG. O Presidente da *Gulf International Marine*, *Shane J. Guidry* disse na ocasião que seria assinado um contrato com um estaleiros dos Estados Unidos em agosto de 201(Backwell, 2011b).

Figura 17: Desenho do PSV SV310DF.



Fonte: Cortesia da STXM / Backwell 2011b

4.3.1 Registro de barcos norte-americanos lento para acompanhar a tecnologia de motores diesel marítimos LNG

Os motores a diesel para combustível duplo (capazes de queimar gás natural inflamado por combustível "piloto" líquido, sendo também capazes de rodar totalmente com óleo diesel) estão se tornando de uso comum em águas europeias, onde, entre outros construtores de motores, a *Wartsila* anuncia sua instalação em cerca de sessenta navios de passageiros e OVS; mas a invasão na América do Norte irá muito além disso.

De fato, a autorização para construção dos navios acionados a LNG da *Harvey Gulf* exige que eles atendam aos padrões esperados a serem brevemente

estabelecidos pela Guarda Costeira dos Estados Unidos. Com essa finalidade os arquitetos navais consultores da U.S./*Canadian STX Marine Inc.* assumiram a tarefa de desenho dos navios e sem dúvida estão alinhados com a Guarda Costeira.

4.3.2 Desenho do SV310DF "verde" da *Harvey Gulf*

A designação do tipo "SV310DF" pode ser traduzida como: Navio de Suporte de 310 pés de comprimento com motores de propulsão de Combustível Duplo; os navios de 5.520 dwt se destinam, em princípio, a terem capacidade de LNG para sete dias de operação por três motores principais em rpm totais, proporcionando uma velocidade de deslocamento de 13 kts.

Outro projeto "verde" dos navios *Harvey Gulf* presentemente nas listas dos construtores e classificado como ABS irá trazer a notação "ENVIRO PLUS" (que representa a obediência aos critérios mais restritivos para proteção ambiental relacionados às características do projeto, sistemas de gerenciamento e suporte, descargas no ar e no mar), bem como a notação mais conhecida da ABS "GP" – *Green Passport* (Passaporte Verde). Todas essas medidas impressionantes de segurança e de proteção ao meio ambiente deverão ser incorporadas similarmente ao desenho dos dois PSV de combustível duplo SV310DF LNG.

4.4 O projeto HERCULES levanta a bandeira para o desempenho dos anéis de pistão e revestimentos

O desenho de anel de pistão de motor diesel de furo grande e de revestimento do cilindro avançou muitos pontos na escala da eficiência pela pesquisa que vem sendo desenvolvida pelo projeto HERCULES, financiado pela União Europeia. O anel de pistão, por si só, parece ser uma parte não relacionada ao motor como um todo, embora em grande parte a importância comercial do Tempo entre Revisões (TBO) seja fortemente influenciada pelo comportamento do curso do pistão e seus efeitos no desgaste dos anéis do pistão e nos revestimentos do cilindro. Reconhecendo esse fato, um setor do estudo interrelacionado foi dedicado à investigação sobre como poderia ser reduzida a fricção do motor (Backwell 2011c).

4.4.1 O Projeto HERCULES

HERCULES é o acrônimo de "High Efficiency R&D on Combustion with Ultra-low Emissions for Ships", que define o escopo do projeto de três anos e meio conduzido pela *MAN Diesel SE* e a *Wartsila Corporation* com uma equipe de mais de quarenta fornecedores de componentes de motores europeus, fabricantes de equipamentos, universidades, instituições de pesquisa e empresas de navegação. O custo do projeto foi bancado por uma bolsa combinada de 33 milhões de euros, proveniente em grande parte da União Europeia com uma pequena contribuição do Governo Federal Suíço.

O HERCULES visa contemplar o desenvolvimento de motores diesel marítimos que venham reduzir as emissões de gases e particulados, e ao mesmo tempo aumentar a eficiência e confiabilidade do motor, pela redução do consumo de combustível, das emissões de CO₂ e dos custos de ciclo de vida do motor. Os frutos do projeto deverão ser incorporados a dois motores em um espaço de dez anos.

4.4.2 Em direção ao Estado de Arte dos Anéis de Pistão e Revestimentos de cilindros

A fricção entre o anel do pistão e o revestimento do cilindro é a principal fonte de consumo de força na linha de comando primária dos motores diesel marítimos de cabeçote cruzado de duas marchas e velocidade lenta, que impulsionam a maioria dos grandes navios mercantes da classe oceânica; a fricção se correlaciona também com o TBO, devido ao desgaste do anel e do cilindro.

Concomitantemente, os pesquisadores do HERCULES estabeleceram um "Tribometer", que é um test-rig de fricção, para determinar com precisão as perdas com a fricção e a resistência ao desgaste dos anéis de pistão, bem como materiais do revestimento do cilindro (o desempenho eficiente do anel do pistão depende não somente de sua lubrificação, mas também de uma boa superfície de deslocamento de revestimentos (camisas) aprimorados e cuidadosamente usinados). Nessa linha, os pesquisadores foram capazes de identificar os materiais (incluindo os anéis feitos de aço cromo e porcelana) com perfis que possam melhorar o desgaste e aumentar a durabilidade de ambos, anéis e camisas.

Um executante solo da indústria nesse aspecto particular da equipe do projeto HERCULES foi a divisão da corporação internacional norte-americana Federal-Mogul, fundada em *Detroit* em 1899, e agora sediada em *Southfield, Michigan*. O braço

principal da empresa em *Burscheid*, ao norte da região Reno-Westfália, especializa-se na fabricação e R&D de continuidade dos anéis de pistão e camisas de cilindros comercializados sob a marca "Goetz". O compromisso com R&D traz benefícios ao crescimento no longo prazo: em 28 de abril de 2011, a Corporação Federal-Mogul relatou resultados mostrando boas vendas e crescimento dos lucros vindos de suas operações empresariais multifacetadas.

Figura 18 : Inspeção de tolerância



Fonte: Foto por cortesia da *MAN Diesel & Turbo*. Backwell 2011c.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho de pesquisa sobre o Óleo Diesel permitiu ao autor desenvolver muito seu conhecimento sobre o assunto, podendo chegar ao final do mesmo com o sentimento do dever cumprido e na esperança de que a divulgação do estudo possa servir de fonte de informações e subsídios para outras pesquisas a serem realizadas por outros estudiosos interessados no importante assunto.

Entre as conclusões que podem tiradas da análise dos artigos estudados, ressalta-se o grande número de pesquisas e medidas que vêm sendo tomadas pelos países desenvolvidos, principalmente pelos governos europeus e norte-americanos, no sentido de produzir máquinas, motores e equipamentos dotados de tecnologia de ponta, voltados para a redução e maior aproveitamento da energia gerada pelos motores a diesel, promovendo assim uma maior conscientização da importância das práticas voltadas à preservação do meio ambiente, dentro de uma postura ecologicamente correta.

REFERÊNCIAS

- BACKWELL, George. **Scania New Generation Maritime Diesel Engine for RNLi Beach Launch Duo**, 2011a. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 08 jul. 2018.
- _____. **America's First LNG Dual-fuel PSV on the Horizon**. 2011b. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 08 jul. 2018.
- _____. **HERCULES Project Raised the Bar for Performance of Piston Rings, Liners**, 2011c. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 08 jul. 2018.
- _____. **New Diesel by MAN Fulfills Container Ship Low-load Engine Needs**. 2012a. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 08 jul. 2018.
- _____. **LNG for Marine Diesel Engines – Nice Fuel If You Can Get It**. 2012b. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 08 jul. 2018.
- _____. **Marine Diesel Engine Fuel Testing – A Stitch in Time**. 2012c. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 08 jul. 2018.
- _____. **Olympic & Sealandia – New Year Centenary Retrospective**. 2012d. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 07 julho. 2018.
- _____. **Wartsila 32 Marine Diesel Engine – 'Jewel in the Crown' Says CEO**. 2012e. Disponível em: <<http://articles.maritimepropulsion.com>>. Acesso em 05 julho. 2018.
- EASTLACK, Edward. **The Future of Marine Propulsion: Gas Hybrid Power Plants (EM681)**. United States Merchant Marine Academy, Kings Point, NY, 2011. Disponível em: <<http://www.intsok.no/?id=193>>. Acesso em 02 julho. 2018.
- UFA. **Diesel fuel characteristics and resources**. 2009. Disponível em: <http://www.ufa.com/petroleum_2009>. Acesso em 01 julho. 2018.