



**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE**



**RAFAEL TARDELLI SANTOS MELLO**



**CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A BORDO  
E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PREVISTA**

**RIO DE JANEIRO**

**2013**

**Rafael Tardelli Santos Mello**

**CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A BORDO  
E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PREVISTA**

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas (FOMQ) da Marinha Mercante.

Orientador: Prof. Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva  
OSM – M.Sc. COPPE/UFRJ

**Rio de Janeiro  
2013**

**RAFAEL TARDELLI SANTOS MELLO**

**CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA A BORDO  
E ARMAZENAMENTO DE ENERGIA PREVISTA**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas Návica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador Prof. Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva  
OSM – M.Sc. COPPE/UFRJ

---

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: \_\_\_\_\_

Aos meus companheiros de camarote, integrantes do GMAQ, minha família e minha namorada, que me apoiaram nessa minha escolha, e especialmente ao meu tio e padrinho, que foi quem realmente me colocou nesse caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e Meishu-Sama por terem me dado forças para que esse trabalho fosse concretizado. Gostaria também de agradecer aos professores Osvaldo Pinheiro de Souza e Silva e Éden Gonzalez Ibrahim, que me ajudaram imensamente na construção deste projeto, e aos meus campanhas do Grêmio de Máquinas, que me fazem acreditar no potencial dos alunos da EFOMM, e me fazer ter orgulho de fazer parte dessa família.

*Ainda que sejamos inábeis ao falar, se as nossas  
palavras forem ditas com amor, terão o poder de  
mover pessoas.*  
(Mokiti Okada)

## **RESUMO**

Para entendermos como é construído e como se deve utilizar o plano de balanço elétrico devemos passar por certos requisitos. Logo, devemos estudar todos os sistemas que envolvem geração e distribuição de energia, além de seus consumidores. Os tipos de geradores, os sistemas de distribuição de energia e a identificação e operação dos quadros elétricos, e sistemas de segurança também devem ser abordados. Também é essencial o conhecimento de todos os tipos de consumidores, desde os equipamentos básicos necessários para a habitabilidade a bordo, aos modernos sistemas de posicionamento dinâmico e propulsão elétrica.

## **ABSTRACT**

For us to understand how the electrical balance plan is built and how we should use it, we must go through certain requirements. So, we should study all systems that surround energy generation and distribution and the electrical switchboards identification and operation. It is also essential the knowledge of all types of consumers, from the basic sets of equipment for the habitability on board to the modern dynamic positioning systems and electrical propulsion.



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Geradores disponíveis

Tabela 2 Consumidores e modos de operação

Tabela 3 Escolha dos motores/geradores para cada modo de operação

Tabela 4 Cálculo da reserva de energia disponível

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Posição dos geradores e baterias

Figura 2 Sistema de um diesel gerador

Figura 3 Diesel Gerador Wärtsilä de 2,2kVA

Figura 4 DGE Catterpillar 450kW. Podemos observar seu radiador

Figura 5 Gerador de eixo, acoplamento (*clutch*), e caixa redutora

Figura 6 sistema simples de um gerador de eixo

Figura 7 Turbo gerador de 9.860kW

Figura 8 Barramento principal com 440v e 60hz do simulador de máquinas

Figura 9 Exemplo de um gerador no QEP do simulador de máquinas

Figura 10 quadro elétrico de emergência

Figura 11 Símbolo de um *bow thruster*

Figura 12 exemplo da potência de um thruster azimutal

Figura 13 Thruster azimutal em corte

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AHTS – Anchor Handling Tug Supply

AVR – Automatic Voltage Regulator

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

DGE – Diesel Gerador de Emergência

GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System

GPS – Global Positioning System

HFO – Heavy Fuel Oil

MCA – Motor de Combustão Auxiliar

MCP – Motor de Combustão Principal

MDO – Marine Diesel Oil

PTI – Power Take In

PTO – Power Take Off

QEE – Quadro Elétrico de Emergência

QEP – Quadro Elétrico Principal

SOLAS – International Convention for Safety Of Life At Sea

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1 TIPOS DE ENERGIA</b> .....	14
<b>2 TIPOS DE GERADORES</b> .....	16
2.1 Diesel gerador.....	16
2.2 Diesel gerador de emergência.....	18
2.3 Gerador de eixo .....	20
2.4 Turbo gerador .....	22
<b>3 Distribuição da energia elétrica e seus consumidores</b> .....	24
3.1 Apresentação do quadro elétrico principal (QEP).....	24
3.2 Apresentação do quadro elétrico de emergência (QEE).....	26
3.3 Consumidores gerais .....	26
3.4 Consumidores especiais.....	28
3.4.1 Thrusters .....	28
3.4.2 Propulsão elétrica e sistema de gover.....	30
3.5 Balanço elétrico .....	31
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	35
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	36

## INTRODUÇÃO

Neste trabalho estudaremos os diferentes tipos de geradores, e suas capacidades. Os principais assuntos a serem discutidos serão as diferentes formas de energia a bordo (CC e CA), e as suas devidas aplicações, tendo como objetivo a demonstração de como deve ser feita a operação de maneira segura e com maior eficiência possível.

A energia elétrica a bordo provém, em sua grande maioria, de motores diesel, chamados de diesel geradores. Existem outras formas de obtenção de energia elétrica, tais como provenientes de geradores de eixo, que são espécies de alternadores, e também de turbo-geradores, que aproveitam a energia do vapor superaquecido produzido nas caldeiras.

Hoje em dia a energia elétrica vem sendo cada vez mais requisitada, e altos consumos de energia demandam a evolução na capacidade de geração. Um exemplo disso são os modernos sistemas de governo e manobra, com a utilização de Thrusters, o sistema de posicionamento dinâmico, e o moderno sistema de propulsão elétrica, este vem crescendo rapidamente na indústria Offshore e brevemente dominará o mercado.

Mas tais equipamentos modernos vêm com certo preço. Estes equipamentos demandam de uma enorme quantidade de energia, o que faz com que o controle dessa energia seja feito com exatidão. E essa é a função do plano de balanço elétrico. Plano este que é de suma importância para a segurança e desempenho da embarcação, e não deve ser de maneira alguma negligenciado. A ignorância do tal pode acarretar em desastrosos acidentes.

O principal foco do trabalho será no correto manuseio do plano de balanço elétrico, mas para isso, devemos passar por etapas a fim de explicar um pouco do sistema para melhor compreensão.

## Capítulo I – Tipos de energia

Para melhor entendimento de nosso estudo, devemos ter em mente que a bordo existem diferentes fontes de energia e cada uma delas funciona de uma maneira específica. Mas essas fontes podem ser divididas basicamente em fontes de corrente alternada e corrente contínua.

A fonte de energia em corrente contínua são as baterias, que são carregadas pela energia que é produzida nos geradores e passam pelo retificador. Atualmente as baterias se encontram separadas no sistema transitório e existe um sistema próprio para o GMDSS.

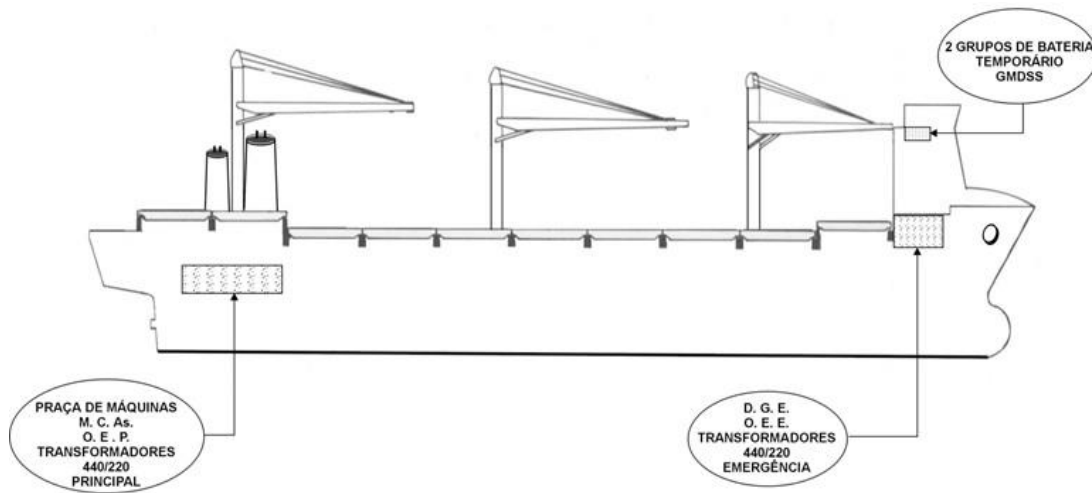
Na convenção SOLAS, cap. IV, parte C, a regra 13 estabelece a existência de uma fonte de energia para o GMDSS independente da energia principal, da de emergência e do sistema transitório. E caso existam outros equipamentos vinculados ao GMDSS, estes devem também possuir sua própria fonte de energia. Todos esses equipamentos devem ter seus próprios retificadores e acumuladores.

O sistema transitório, em funcionamento normal da embarcação, é o responsável por alimentar todo o sistema de corrente contínua da automação. Sem ele o navio não é capaz de operar. Se, por alguma razão inesperada, as baterias não estiverem sendo devidamente carregadas durante a navegação, sua energia acumulada vai sendo gasta com o tempo fazendo com que todos os equipamentos da automação fiquem inoperantes. A consequência disso seria o navio apagar.

A outra função do sistema transitório está implícita em seu nome. Em caso de algum tipo de acidente que faça com que o navio apague, ele é o responsável por manter a automação operante a todo o momento, e é isso que vai garantir que o DGE entre em funcionamento automaticamente, até que seja reestabelecida a energia dos MCA's.

É importante citar o fato de que o sistema de baterias não se encontra na praça de máquinas. Sua localização deve ser no local mais seguro possível, já que ele deve estar pronto para operar em caso de emergência, e podemos considerar que a praça de

máquinas é o lugar onde há a maior probabilidade de acidentes.



*Fig 1 Posição dos geradores e baterias*

## Capítulo II - Tipos de Geradores

A bordo são utilizados, basicamente, três diferentes tipos de geradores, com diferentes forças motrizes, e podendo ter capacidade diferente um dos outros. Não é obrigatório ao navio possuir todos os tipos, tudo depende da sua construção e utilização. São eles os seguintes:

- Diesel Geradores (MCA's)
- Turbo Geradores
- Geradores de eixo

### 2.1 Diesel Gerador

Os diesel geradores são os mais comuns e dominantes. Eles são máquinas de combustão, ou seja, utilizam combustível fóssil para a produção de energia. Os combustíveis utilizados são o MDO e o HFO. São máquinas síncronas, onde o enrolamento do estator é constituído de pólos magnéticos. Esse tipo de máquina necessita de um circuito de excitação de corrente contínua, que é denominado Excitatriz.

Dentre os diesel geradores, podemos dividir entre geradores principais, que são denominados MCA's, e os geradores de emergência, chamados de DGE. Ambos tem o mesmo princípio de funcionamento, mas possuem suas diferenças tanto na utilização quanto na manutenção.

A construção desse tipo de gerador é subdividida em três partes: motor, gerador, e excitatriz.



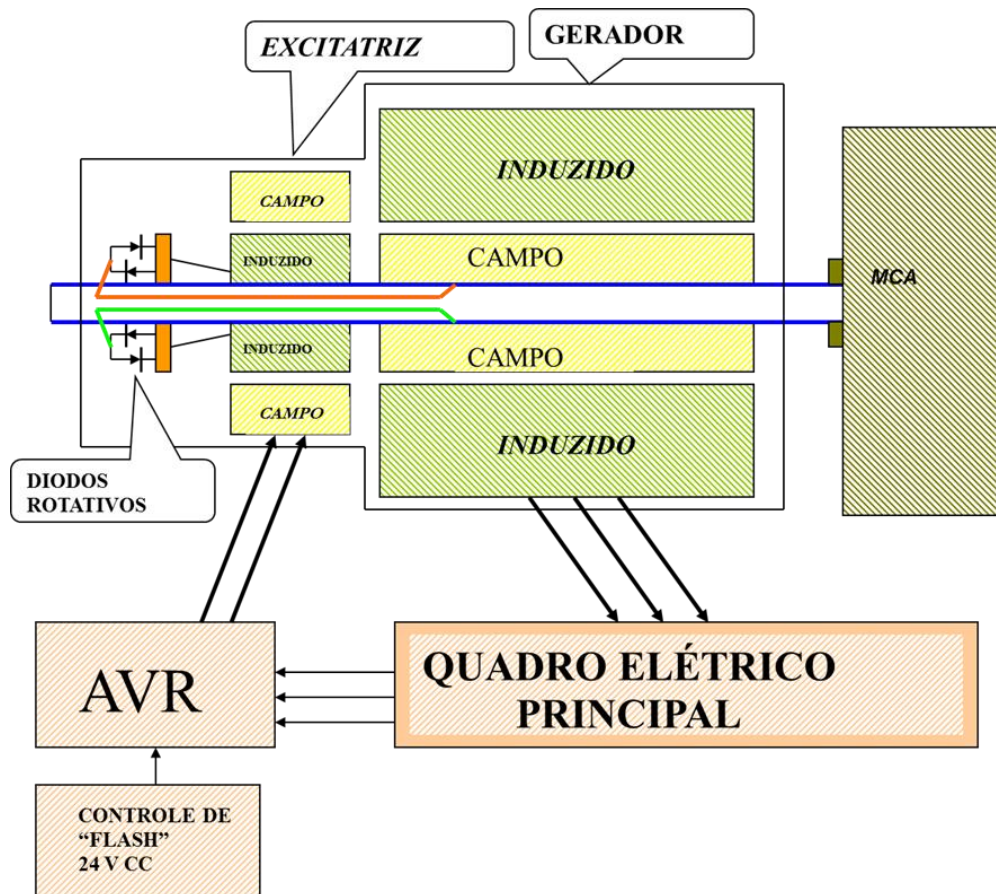


Fig 2 sistema de um diesel gerador

O motor tem como função utilizar a energia do combustível e transmiti-la, através de um eixo comum, para o restante do sistema. Este motor necessita de todo o cuidado e manutenção de um motor diesel comum. Tem seu próprio sistema de combustível, ar de lavagem, ar de controle, ar de partida, descarga, lubrificação e arrefecimento. Todos esses sistemas são de suma importância para que o motor atinja a velocidade necessária, e se mantenha. A alteração na velocidade de rotação do motor pode resultar em um aumento ou decréscimo na frequência, e como consequência, pode tirar o gerador de barra.

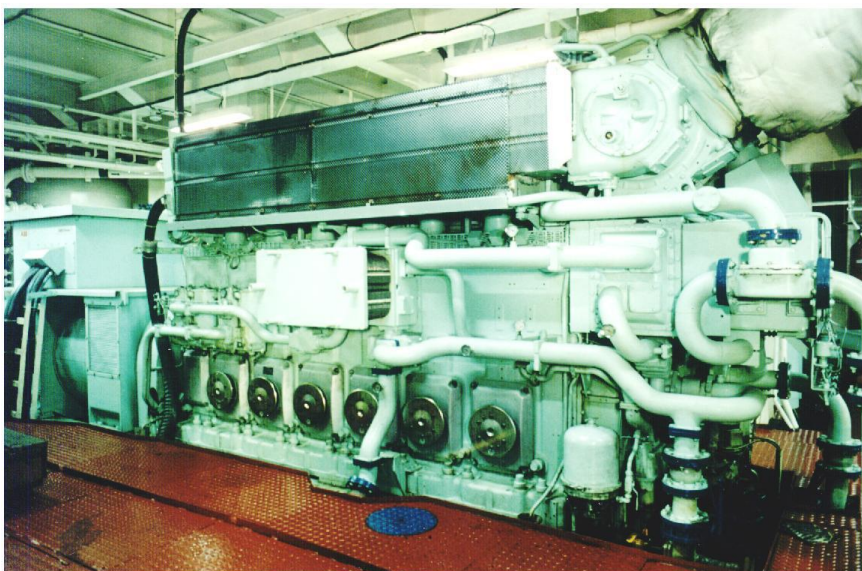
A excitatriz tem a função de fornecer ao campo do alternador determinado nível de corrente de excitação a fim de manter, em qualquer instante e condição de carga, a tensão de saída do gerador rigorosamente constante. É uma espécie de pequeno gerador, onde seu eixo é em comum com o motor, e possui ímãs de forma que possa produzir uma corrente induzida, desde que os ímãs ainda possuam magnetismo residual. A

corrente produzida é na forma de CA e deve passar por um retificador, um conjunto de semicondutores (diodos), com a finalidade de transformar essa corrente em CC para que essa corrente chegue ao campo do alternador, tornando possível a produção da energia no gerador.

É muito importante partir o gerador regularmente, evitando que perca o magnetismo residual, o que resultaria na não produção de energia pelo gerador.

O gerador, por sua vez, é o responsável por fornecer a energia produzida ao quadro elétrico principal, agora em forma de CA novamente.

E para que essa energia seja entregue ao QEP de maneira correta, com seu devido valor de tensão, existe também um equipamento imprescindível que chamamos de AVR. Tem como função receber informação do QEP sobre a tensão, e rapidamente faz regulagens, quando necessário, na corrente de excitação, à fim de manter um valor estável de tensão.



*Fig 3 Diesel Gerador Wärtsilä de 2,2kVA*

## **2.2 Diesel Gerador de Emergência**

O DGE é um gerador importante e sua manutenção deve ser constante e cuidadosa. Existem regras específicas para ele na Convenção Internacional para Salvaguarda da

Vida Humana no Mar (convenção SOLAS de 1974), regras essas que tratam a respeito da sua função, capacidade, e tempo máximo para entrar em atividade em caso de emergência.

Tem como objetivo alimentar o QEE em caso de emergência, fornecendo energia para todos os equipamentos e iluminação essenciais para navegação segura. Em alguns navios, é possível utilizar a energia do DGE para alimentar o QEP, por um curto período de tempo em casos excepcionais.

Esse gerador é acionado pela automação do navio em casos de “blackout”. Devido a uma regra da SOLAS, não fica localizado na praça de máquinas, e por sua localização ser em um convés superior, não utiliza sistema de arrefecimento por água salgada, devido a capacidade de aspiração das bombas. Seu sistema de arrefecimento é simples, se assemelha com o de um carro de passeio, com o uso de um radiador. O restante dos seus sistemas se assemelha com o de um MCA comum, com bombas de óleo, água doce e combustíveis acopladas ao eixo de manivela por meio de engrenagens, e não dependem de energia elétrica para funcionar.



*Fig 4 DGE Catterpillar 450kW. Podemos observar seu radiador*

Por regra, deve possuir dois sistemas independentes de partida, e o mais comum e principal é o de bateria com motor de arranque elétrico. Porém outros sistemas também são utilizados, como hidráulico e pneumático, e deve ser capaz de realizar três tentativas de partida em cada um destes.

Por ser um gerador especial, sua manutenção deve ser rígida e cautelosa, sempre seguindo as especificações do fabricante. Deve-se atentar ao nível de combustível no tanque, ao nível de óleo lubrificante no cárter, e nível de fluido refrigerante no tanque de expansão. Outro cuidado a ser tomado é com seu tempo de funcionamento. Por ser um motor que entra em atividade imediatamente, sem aquecimento prévio, ou utilização de catraca, seu desgaste é muito intenso, e seu limite máximo de horas de funcionamento é muito inferior aos de outros diesel geradores.

### 2.3 Gerador de Eixo

Conhecido como gerador de eixo, este equipamento funciona semelhantemente ao alternador de um veículo automotor comum que vemos no nosso cotidiano. Nada mais é do que um gerador que aproveita a energia da combustão do MCP para a produção de energia elétrica.

A diferença, é que no caso do alternador de um carro, por exemplo, o alternador está conectado ao motor por meio de correia, e está sempre em funcionamento, alimentando a bateria e todo o sistema elétrico de 12 volts CC do carro. Já no caso do modelo marítimo, pode ser conectado ou desconectado do MCP, dependendo da necessidade. Para isso, é necessário o uso de uma caixa de transmissão, e uma conexão, chamada de “clutch” ou simplesmente acoplamento.

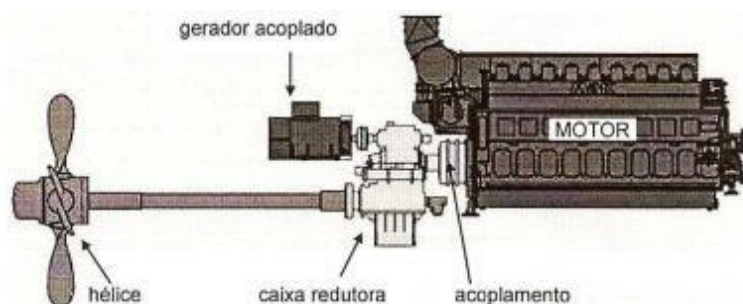
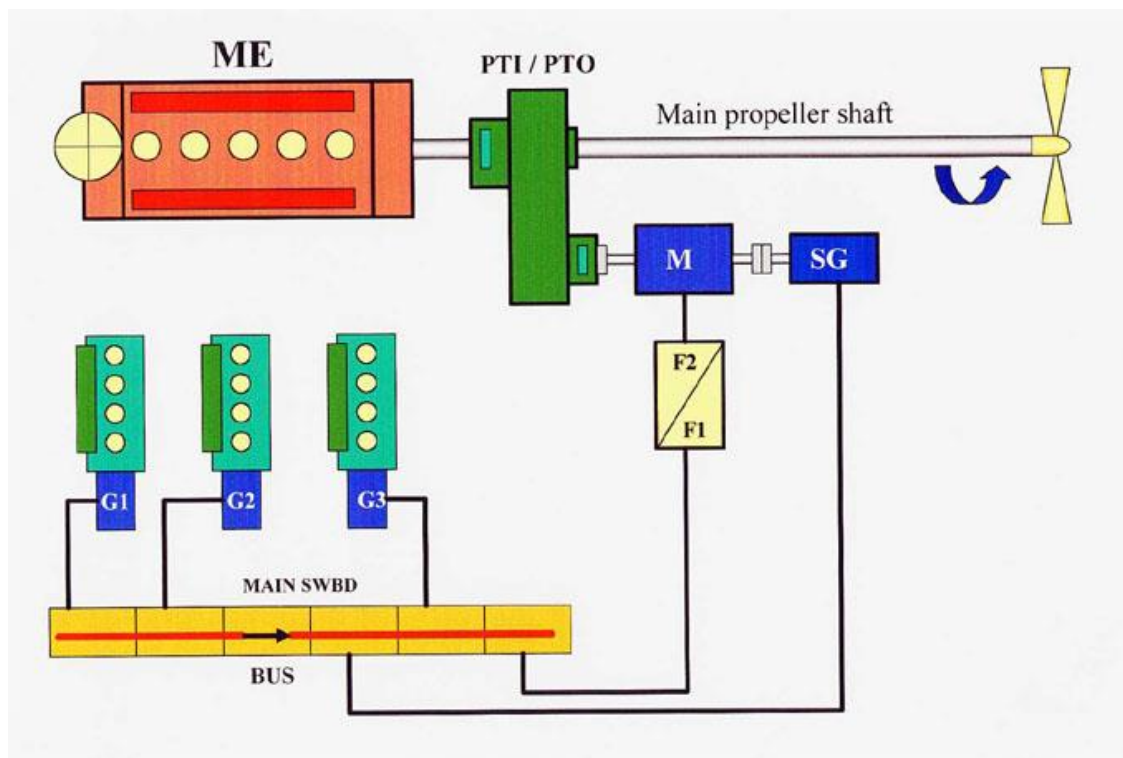


Fig 5 Gerador de eixo, acoplamento(“clutch”) e caixa redutora





*Fig 6 sistema simples de um gerador de eixo*

Na figura podemos observar o termo PTI/PTO. Isto se refere aos dois tipos de operação que esse tipo de gerador está disposto. Quando operando em PTI, há um aumento na energia mecânica disponível na embarcação, já que motores elétricos atuam na redutora, de modo a aumentar a potência do MCP. Este modo é utilizado quando há a necessidade de uma grande potência de tração no navio. Somente quando funciona em modo PTO, é que se produz energia elétrica. Neste modo, a redutora é movimentada pelo MCP, e direciona a energia produzida pela queima dos gases no motor principal para um eixo que está conectado a um gerador. Dessa maneira aumentamos a potência elétrica disponível na embarcação.

Este tipo de gerador presente na grande maioria dos navios atuais, e é encontrado tanto em embarcações de grande porte, como navios cargueiros, quanto em embarcações “Offshore”, com MCP’s de menor potência e tamanho.

Como vantagens, podemos citar o fato de que sua manutenção é simples possui um baixo custo, tendo em vista que a principal preocupação é com a lubrificação e, diferente dos diesel geradores, não possui sistemas auxiliares, apenas sua transmissão e seu eixo que são conectados ao motor principal. Outro fato importante é a economia no espaço, já que é um gerador de tamanho reduzido se comparado a um MCA. Também é

importante o fato da economia de combustível, já que este gerador não necessita de combustão própria, apenas aproveita a combustão já realizada no MCP.

Porém, aproveitar a energia proveniente do motor principal não é assim tão simples. Existem algumas desvantagens. A principal delas é que o gerador não é capaz de produzir energia enquanto o MCP não estiver em funcionamento. Neste caso os outros geradores devem compensar esta perda. Outro inconveniente é o fato de o gerador de eixo gerar um excesso de carga no motor principal, resultando em um desgaste e, conseqüentemente, aumentando o seu consumo específico de óleo combustível, consumo de óleo lubrificante.

## 2.4 Turbo gerador

Uma turbina acionada pelo fluxo de vapor superaquecido e conectada por um eixo comum à um gerador. Essa é a ideia básica de um turbo gerador. Sua construção é um pouco mais complexa do que esta definição, e existem diferentes tipos de turbinas com ampla variedade de tamanhos e potências, e diferentes pressões de trabalho.

O turbo gerador é um equipamento que só pode ser encontrado em alguns navios específicos que, além de possuírem caldeira, devem ser capazes de produzir vapor superaquecido.

É um gerador de complexo funcionamento, onde devem ser observados, a todo o momento, detalhes como pressão de vapor, vedação, lubrificação dos rolamentos, temperatura do vapor, velocidade de rotação da turbina, e presença de água e vapor saturado na turbina. A utilização do vapor superaquecido é o que nos garante que este não venha a se condensar nas turbinas e nem na rede, o que poderia vir a ser um problema grave e de difícil reparo. O fabricante estipula os valores e a capacidade do gerador, e deve ser tomado o cuidado para que os valores especificados não fujam de controle, dessa maneira o turbo gerador poderá funcionar com seu melhor desempenho sem apresentar problemas.

A principal vantagem é que como a caldeira deve ser sempre mantida em funcionamento, e a própria caldeira utiliza os gases de escape do MCP para produção de vapor, esse vapor devidamente tratado é capaz de gerar energia, economizando uma grande quantidade de óleo combustível que seria utilizado nos diesel geradores.



*Fig 7 turbo gerador de 9.860kW*

## Capítulo III - Distribuição da energia elétrica e seus consumidores

### 3.1 Apresentação do Quadro Elétrico Principal (QEP)

Entende-se por barramento principal, o barramento que alimenta todos os equipamentos de bordo, e também é ele o responsável por alimentar os equipamentos ligados ao QEE quando o navio se encontra em condições normais. Alguns navios modernos tem este barramento subdividido, essa separação só é exigida em plantas elétricas com mais de 3MW, e em navios com propulsão elétrica com mais de dois eixos. Isso permite que cada um dos eixos permaneça em operação mesmo que o outro seja avariado ou totalmente desligado mas a grande maioria ainda o possui de maneira única.

O QEP é o equipamento onde encontramos informações importantes sobre os geradores que estão alimentando o barramento principal do nosso navio. Ele está localizado no centro de controle de máquinas, e é de fácil acesso para tripulação de máquinas que por ali estiver. Nele é possível observar, por exemplo, os valores de tensão, frequência, potência, corrente, e potência reativa. Também é possível observar o sincronoscópio, sinalizadores de funcionamento e alarmes, botoeiras de parada e partida dos diesel geradores, controle da excitação, “circuit breaker”, regulador de velocidade e o horímetro

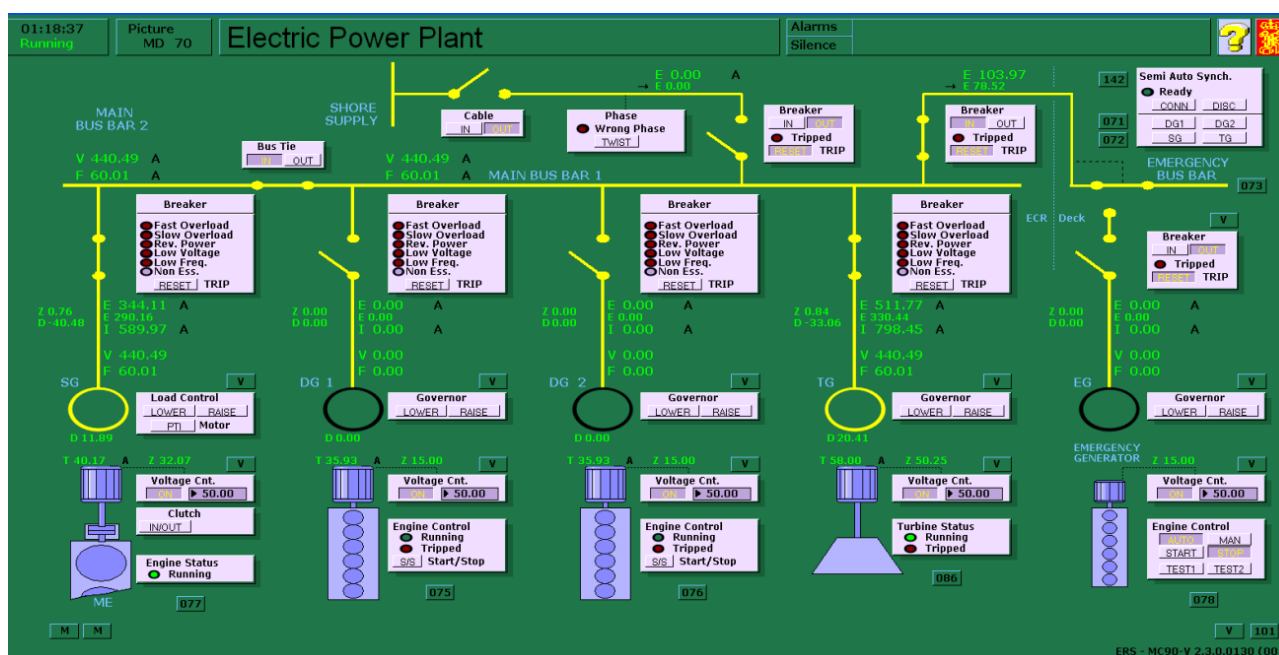


Fig 8 barramento principal com 440v e 60hz do simulador de máquinas



A tensão e a frequência são valores que devem permanecer constante, e devem variar o mínimo possível. Existem regras na SOLAS para o limite de variação na tensão e na frequência, com a finalidade de não comprometer a operação segura dos equipamentos dos navios.

Já corrente e a potência são valores variáveis e dependem diretamente da quantidade e do tipo de equipamentos que estão em funcionamento. São valores que devem ser constantemente acompanhados durante a condução e, juntamente com o plano de balanço elétrico, são as ferramentas necessárias para definir quantos e quais geradores devem entrar em barra para determinada operação.

O regulador de velocidade é uma importante ferramenta, e é com ele que podemos fazer o controle da frequência do gerador. Esse controle é importante para que os geradores possam entrar em paralelo corretamente, e também é necessário para a distribuição de carga manualmente.

Cada um dos geradores tem um espaço separado no QEP, e todos eles possuem as ferramentas e indicações supracitadas.

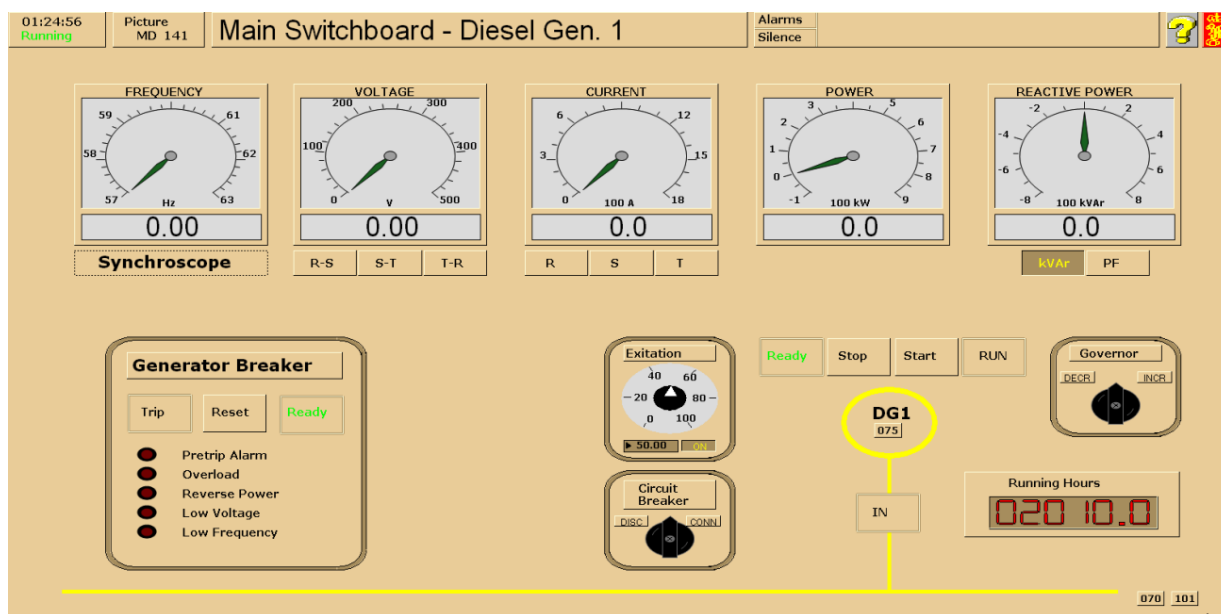


Fig 9 exemplo de um gerador no QEP do simulador de máquinas

### 3.2 Apresentação do Quadro Elétrico de Emergência (QEE)

O barramento de emergência é responsável por alimentar os equipamentos essenciais para navegação segura. Tais como iluminação, sistema de governo, e alguns outros equipamentos que não podem parar seu funcionamento de forma alguma.

Em condições normais, os geradores que alimentam o barramento principal também alimentam o de emergência. Este sempre está em funcionamento. Mas caso ocorra um acidente que faça com que o barramento principal perca sua alimentação, o DGE vai garantir que os equipamentos essenciais continuem recebendo energia. E para controle desses equipamentos, existe um quadro elétrico específico, similar ao QEP, que é o quadro elétrico de emergência (QEE)

No QEE encontramos todos os dados referentes ao DGE e ao barramento de emergência que está sendo alimentado pelo barramento principal. Sua localização fica no convés e, conseqüentemente, a equipe de máquinas fica um pouco afastada na maior parte do tempo, sendo função do eletricista verificar o bom funcionamento do mesmo.



*Fig 10 quadro elétrico de emergência*

### 3.3 Consumidores Gerais

Primeiramente, devemos entender que existem separações nos tipos de equipamentos. A primeira dela divide em cargas essenciais e não essenciais, cada uma com seu barramento específico. E dentre essa divisão, ainda separações em equipamentos de força e de iluminação.

O termo usado para barramento de força, se remete a todo o equipamento que utiliza uma tensão mais alta. Tais como bombas, compressores, ventilação da praça de máquinas, guindastes, e etc. Já o barramento denominado de iluminação é mais amplo do que seu nome propriamente dito. Todos os equipamentos que utilizem uma tensão mais baixa do que o barramento de força, se enquadram nessa categoria.

Consumidores como cozinha, aquecimento, refrigeração doméstica, ventilação mecânica, serviço sanitário e aguada são considerados como o mínimo para conforto e habitabilidade, e dentre esses equipamentos existem aqueles que operam tanto no barramento de força quanto no barramento de iluminação. A convenção SOLAS exige que uma única fonte de energia seja capaz de garantir as condições normais de operação e segurança, além do conforto mínimo supracitado.

Tais consumidores, mesmo em grande quantidade, representam uma menor quantidade na demanda de energia se comparados a outros sistemas mais pesados. Mesmo assim, é de suma importância que esta demanda esteja bem especificada no plano de balanço elétrico, e seja devidamente respeitada à fim de manter a boa operação a bordo.

Segue a baixo uma lista dos consumidores em geral, tendo em vista que a sua demanda de energia varia muito com a necessidade. Tal necessidade é estudada e tabelada, fazendo com que assim fique bem claro quais equipamentos e geradores devem operar em cada situação. Tal estudo é chamado de modo de operação.

- Praça de máquinas (serviço contínuo): bomba de água salgada, óleo diesel
- Praça de máquinas (serviço intermitente): bombas de transferência de óleo diesel
- Praça de máquinas (diversos): bombas de esgoto, lastro
- Ar condicionado / ventilação / aquecimento
- Frigorífica de provisões (equipamentos): compressor, armazenamento para peixes, carnes
- Cozinha / copa
- Lavanderia
- Oficina
- Iluminação
- Equipamentos náuticos e de auxílio à navegação

### 3.4 Consumidores especiais

Nas embarcações mais modernas e principalmente nas que operam na indústria Offshore, é comum o uso de modernos equipamentos de propulsão e manobra, como a propulsão elétrica e os *Thrusters*. Porém, tais equipamentos requerem um preço alto que, no caso, é uma alta demanda de energia elétrica. Esse é um dos motivos de se fazer uso de altas tensões nos barramentos, com a finalidade de se obter uma corrente bem dimensionada, e em alguns casos, subdivisões do barramento, a fim de possibilitar uma maior segurança.

#### 3.4.1 Thrusters

Com a evolução do tráfego aquaviário e, conseqüentemente, com o significativo aumento na frota marítima mundial, tornou-se essencial que a operação de atracação e desatracação nos portos fosse feita com maior rapidez. Além desse fato, novas operações como a perfuração de poços de petróleo em mar aberto, e a extração do mesmo, também se tornaram possíveis. E para que tais operações fossem possíveis, novas tecnologias foram necessárias. A mais revolucionária delas foi a invenção dos *thrusters*, que fizeram possíveis tais manobras.

Os *thrusters* são espécies de propulsores envolvidos em um tubulão que faz com que a sua força seja melhor aproveitada e são divididos, basicamente, em *bow thrusters*, *stern thrusters*, e azimutais.

Os *bow thrusters* e *stern thrusters* são posicionados nos bordos do navio, e tem sua posição marcada por um símbolo na pintura do costado da embarcação. O nome faz referência à sua posição, onde *bow* fica localizado na proa, e *stern* na popa.



Fig 11 símbolo de um bow thruster

Esse conjunto facilitou muito as manobras de atracação e desatracação, fazendo com que elas fossem realizadas com mais rapidez, e também fez possível o emprego do

sistema de posicionamento dinâmico, que garante que a embarcação mantenha uma mesma posição, controlada por meio de GPS com a utilização movimentos laterais, e também é capaz de realizar uma rotação em seu próprio eixo, aumentando assim sua capacidade de manobra.

O grande problema é que toda essa facilidade vem com um preço. Para fazer com que esses propulsores sejam capazes de movimentar um navio lateralmente, onde a força necessária para vencer a inércia é extremamente alta, é necessário que se faça uso de motores com alta potência.

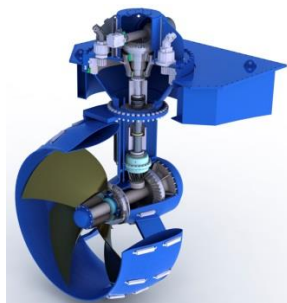
AZIMUTH THRUSTER TYPE UUC 7001, technical data per installation:	
Prime mover	: Variable speed electric motor
Continuous input power	: 5500 kW
Drive motor speed:	
constant torque range	: 0 – 750 rpm
constant power range	: 750 – 790 rpm
Propeller diameter	: 4100 mm
Number of propeller blades	: 4
Nozzle : PV, tilted 5 degrees	
Type of remote control system: Aquapilot, DP interface	

*Fig 12 exemplo da potência de um thruster azimutal*

Para controlar a força exata necessária para a manobra, é necessário o emprego de um inversor de frequência para alterar a rotação do propulsor, já que estes devem ser sempre de passo fixo.

No caso do emprego de motores elétricos, estes gerarão um alto consumo de energia elétrica e conseqüentemente deverá ser utilizado uma tensão diferente dos outros equipamentos de força. Com a tensão comum de 440 V, a corrente seria extremamente alta, e para acabar com esse problema são utilizados barramentos de alta tensão. Um exemplo comum são os barramentos de 6600 V.

Os *thrusters* azimutais diferem no fato de, além de ser um propulsor, também podem rotacionar em torno de seu próprio eixo, sendo possível o seu uso como o próprio sistema de propulsão.



*Fig 13 Thruster azimutal em corte*

### **3.4.2 Propulsão elétrica e sistema de governo**

Antigamente o sistema de governo a bordo era feito por meio de cabos de aço, o que tornava a manobra muito pesada e difícil, e sendo totalmente dependente da força humana. Atualmente o sistema mais utilizado é o hidráulico, que torna a manobra extremamente mais leve, e faz com que não seja mais necessário um leme de tamanho significativo.

Este sistema hidráulico consiste do emprego de bombas transportando óleo constantemente com uma alta pressão e válvulas de controle direcional. Essas bombas podem funcionar simultaneamente ou não, dependendo da necessidade. A convenção SOLAS exige que pelo menos uma dela seja considerada como carga essencial, para garantir que o navio possa manter o sistema de governo funcionando apenas com a alimentação do barramento de emergência.

A desvantagem deste sistema, é que no caso de um apagão, o navio perde o governo enquanto estiver operando somente o sistema transitório, e só voltará a ter o controle no momento em que o DGE for acionado. Nesse momento de transição o leme manterá a última posição em que se encontrava antes do acidente até que uma bomba seja ligada novamente.

Em algumas embarcações esse sistema é diferente. Com a utilização de *thrusters* azimutais, Azipod® por exemplo, ou propulsores cicloidais, Voith Schneider®. Com esses equipamentos não se faz uso do leme. Apesar de não utilizar leme, ainda se faz

necessário o uso de bombas hidráulicas para o controle do ângulo de alguns azimutais, em algumas construções. Esse sistema é conhecido como propulsão elétrica.

Este sistema passou por algumas alterações desde sua invenção, e hoje em dia a construção mais utilizada é com alta tensão, que pode variar bastante de embarcação para embarcação podendo chegar até mesmo em 11000 V, vinda diretamente do barramento principal e sendo controlada por um inversor de frequência para atingir a rotação desejada.

### 3.5 Balanço elétrico

O plano de balanço elétrico é uma tabela precisamente calculada com o intuito de guiar os tripulantes para que a embarcação tenha garantida a quantidade certa de energia disponível em cada modo de operação, e tenha também uma reserva de energia que possa ser usada caso necessário.

Entende-se por reserva de energia elétrica, toda a energia que está disponível através da produção dos geradores, mas que não está sendo usada. Para cada modo operação é calculado a energia demandada e energia disponível. Estas, de preferência, não devem ser exatamente iguais, de modo que caso seja necessário que algum outro equipamento seja posto em operação, tenha energia suficiente sem sobrecarregar os geradores.

Todo o estudo anterior neste trabalho se fez necessário para entendermos o que é e para que serve o plano de balanço elétrico, e o quão importante este pode ser independente do tipo de embarcação.

Para melhor entendermos como esse cálculo é feito, utilizaremos dados extraídos de um navio AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*), que tem um alto consumo de energia elétrica, já que, além das operações comuns de reboque, também faz manuseio de âncoras, que torna necessário a utilização de potentes guinchos para tal manobra.

O cálculo é feito baseado no consumo de cada sistema do navio. O sistema de posicionamento dinâmico, por exemplo, tem seu consumo calculado baseado na potência dos *thrusters*. O sistema de combate a incêndio depende da potência das bombas de incêndio. No caso do manuseio de âncoras, a soma das potências dos guinchos nos mostra qual o seu consumo máximo. Outros sistemas de consumo geral também são calculados e enfim podemos chegar a uma tabela definida em modos de operação, o que facilita a escolha dos geradores necessários.

Primeiramente, devemos ter noção de quais geradores estão disponíveis em nossa embarcação. A tabela a seguir é um exemplo.

GERADORES	
Gerador	Potência(kW)
MCA 1 (Wärtsilä 6L32 Genset)	3170
MCA 2 (Wärtsilä 6L20 Genset)	1050
PTO 1 (Wärtsilä 32 Generator)	3690
PTO 2 (Wärtsilä 32 Generator)	3690
TOTAL	11600

*Tabela 1 Geradores Disponíveis*

Tendo em vista todos esses fatores, podemos chegar a nossa segunda tabela que nos mostrará a demanda elétrica nos principais modos de operação desta embarcação. A partir dessa tabela será possível selecionar os devidos geradores

CONSUMIDORES	
Modo de Operação	Consumo (kW)
Reboque 100%	1000
AH Máx + Reboque 50%	5600
AH Med + Reboque 50%	3000
AH Máx + DP Heavy	9495
FiFi + DP Heavy	8895
Reboque 50%	1000
Navegação 15 kn	1000
Navegação 12 kn	1000
AH Máx + DP Light	7158
AH Med + DP Heavy	6895
FiFi + DP Light	6558
DP Heavy + Descarga	5495
AH Med + DP Light	4558
DP Light + Descarga	3158
Standby Inside 500m	2558
Standby Outside 500m	1000
Porto	400

*Tabela 2 Consumidores e modos de operação*

A próxima tabela nos mostra quais geradores devem ser utilizados em cada modo de operação. Além disso, também é explícito a demanda de energia mecânica, que é proveniente dos MCP's que no caso são dois Wärtsilä 16V32 de 8000 kW e 750 rpm. Outra fonte de energia mecânica são os motores elétricos PTI, que geram certo consumo



de energia elétrica para dividir a carga dos MCP's, aumentando assim a energia mecânica total disponível.

Podemos notar a utilização dos PTI's nos modos de operação de reboque 100%, que exige uma grande demanda de energia mecânica e por isso se faz necessário o uso desses motores, e no modo de navegação 12 kn, que não está utilizando os MCP's como propulsão principal.

Os valores de MCP1\* e MCP2\* são os próprios motores principais, mas utilizando apenas 50% de sua potência total.

Modo de Operação	MCP(2x)	MCP1*	MCP2*	MCA1	MCA2	PTO	PTO	PTI(2x)	Potência Disp. (kW)	
	16000	4000	4000	3170	1050	3690	3690	3200	Mecânica	Elétrica
Reboque 100%	1			1	1			1	19200	1020
AH Máx + Reboque 50%	1					1	1		8620	7380
AH Med + Reboque 50%		1	1	1					8000	3170
AH Máx + DP Heavy		1	1	1		1	1		620	10550
FiFi + DP Heavy		1	1	1		1	1		620	10550
Reboque 50%		1	1		1				8000	1050
Navegação 15 kn		1	1		1				8000	1050
Navegação 12 kn				1	1			1	3200	1020
AH Máx + DP Light		1		1	1	1			310	7910
AH Med + DP Heavy		1		1	1	1			310	7910
FiFi + DP Light		1	1			1	1		620	7380
DP Heavy + Descarga		1		1		1			310	6860
AH Med + DP Light									310	4740
DP Light + Descarga				1					0	3170
Standby Inside 500m				1					0	3170
Standby Outside 500m					1				0	1050
Porto									0	400

*Tabela 3 Escolha dos motores/geradores para cada modo de operação*

Depois de feita essa análise, já é possível se ter uma noção de como é feito o controle baseado em cada modo de operação e quais geradores e motores devem operar. Agora o que nos resta é calcular a reserva de energia disponível.

Para isso, é feita uma tabela comparativa que leva em consideração a potência demandada, potência disponível e reserva prevista. Com esses dados é possível garantir que a embarcação vai operar de maneira segura e sem problemas.

Modo de Operação	Potência Demandada (kW)			Potência Disponível (kW)			Demandada / Disponível		
	Elétrica	Mecânica	Total	Elétrica	Mecânica	Total	Elétrica	Mecânica	Total
<b>Reboque 100%</b>	1000	18353	19353	1020	19200	20220	98%	96%	96%
<b>AH Máx + Reboque 50%</b>	5600	7857	13457	7380	8620	16000	76%	91%	84%
<b>AH Med + Reboque 50%</b>	3000	7857	10857	3170	8000	11170	95%	98%	97%
<b>AH Máx + DP Heavy</b>	9495	-	9495	10550	-	10550	90%	-	90%
<b>FiFi + DP Heavy</b>	8895	-	8895	10550	-	10550	84%	-	84%
<b>Reboque 50%</b>	1000	7857	8857	1050	8000	9050	95%	98%	98%
<b>Navegação 15 kn</b>	1000	7335	8335	1050	8000	9050	95%	92%	92%
<b>Navegação 12 kn</b>	1000	2956	3956	1020	3200	4220	98%	92%	94%
<b>AH Máx + DP Light</b>	7158	-	7158	7910	-	7910	90%	-	90%
<b>AH Med + DP Heavy</b>	6895	-	6895	7910	-	7910	87%	-	87%
<b>FiFi + DP Light</b>	6558	-	6558	7380	-	7380	89%	-	89%
<b>DP Heavy + Descarga</b>	5495	-	5495	6860	-	6860	80%	-	80%
<b>AH Med + DP Light</b>	4558	-	4558	4740	-	4740	96%	-	96%
<b>DP Light + Descarga</b>	3158	-	3158	3170	-	3170	100%	-	100%
<b>Standby Inside 500m</b>	2558	-	2558	3170	-	3170	81%	-	81%
<b>Standby Outside 500m</b>	1000	-	1000	1050	-	1050	95%	-	95%
<b>Porto</b>	400	-	400	400	-	400	100%	-	100%

*Tabela 4 Cálculo da reserva de energia disponível*

Agora temos todos os valores determinados, os geradores que devem operar já estão estabelecidos, e a reserva de energia pode ser enxergada através da diferença entre a energia demandada e disponível.

Tendo todas essas tabelas em mãos, e conhecendo os consumidores e modos de operação, é possível garantir a boa condução e condições de segurança necessárias.

O plano de balanço elétrico é de extrema importância e deve ser sempre estritamente respeitado. Sua negligência pode causar de pequenos inconvenientes à graves acidentes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como intenção informar os cuidados e a correta maneira de se operar diferentes instalações elétricas de maneira segura, tendo em vista no quão importante a eletricidade vem se apresentando na atualidade, e observando o crescimento do consumo elétrico devido a novas tecnologias.

As diferentes formas de energia presentes a bordo e suas respectivas formas de geração foram abordadas a fim de se entender como a embarcação pode reagir em uma situação de emergência, por exemplo, tendo em vista como funciona o sistema transitório, e a separação de cargas essenciais e não essenciais.

Entender como a energia é transportada pelos barramentos, e saber identificar e operar os quadros elétricos principal e de emergência é outro importante fator. Apesar da grande influência da automação, ainda existem muitos equipamentos devem ser acompanhados manualmente e sua operação depende diretamente de acionamento humano.

Com toda essa bagagem, chegamos a conclusão que o plano de balanço elétrico é uma das ferramentas mais importantes para que a segurança seja garantida. Porém para entendê-lo se faz necessário passar por etapas. A compreensão da geração de energia e também de seus consumidores é o fator primordial para que seja possível este plano seja entendido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

POPPIUS, Eduardo Bertil; IBRAHIM, Édén Gonzalez; COSTA; Jesse Werner – **Sistemas Elétricos Marítimos**. 1ed, Rio de Janeiro: DPC, 2008

MARTINS,Tatiana; SIQUEIRA, Matheus - **Produção Acadêmica – Relatório de Projeto de Sistemas Oceânicos II** – 2011 site da Ufrj - <[http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod\\_academic/relatorios/2011/Tatiana\\_Matheus/relat2/Relat2.htm](http://www.oceanica.ufrj.br/deno/prod_academic/relatorios/2011/Tatiana_Matheus/relat2/Relat2.htm)> - acessado em: 26 jul. 2013

IBRAHIM, Édén Gonzalez – **Sistemas de Energia Elétrica dos Navios Mercantes**. 3ed, Rio de Janeiro: CIAGA, 2004

ARPIAINEN, M.; JUURMAA, K.; LAUKIA, K.; NIINI, M.; JARVINEN, K., NOBLE, P., **Naval Architecture of Electric Ships – Past, Present and Future**, SNAME Transactions, Vol. 101, pp. 583-607, 1993.

HANSEN, J.F.; LYSEBO, R., **Electric Propulsion for LNG Carriers**. LNG Journal, pp. 12, Setembro, 2004.

LAUKIA, K., The Azipod System – Operational Experience and Designs for the Future. The Institute of Marine Engineers, Paper 5, **Electric Propulsion The Effective Solution?**, October, 1995.

SOLAS (2002): **International Convention for the Safety of Life at Sea**, International Maritime Organization, London.