

**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**



**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE  
MÁQUINAS**

**(APMA)**

**RAFAEL MARQUES MARTINS**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO EM NAVIOS E BARCOS**

**Rio de Janeiro**

**2012**

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS**  
**(APMA)**

**RAFAEL MARQUES MARTINS**

**SISTEMAS DE PROPULSÃO EM NAVIOS E BARCOS**

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas (APMA).

Orientador: Luiz Otávio Ribeiro Carneiro

Rio de Janeiro  
2012

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Orientador

Professor: Luiz Otávio Ribeiro Carneiro

Observações:

---

---

---

---

Nota:

---

Rio de Janeiro

2012

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha fantástica mãe, ao meu pai, irmão, pessoas também que estiveram realmente ao meu lado durante as dificuldades e a todas outras que puderem fazer deste trabalho um veículo de ajuda ao enriquecimento intelectual.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, em seguida meus familiares, amigos e ao orientador Luiz Otávio, os quais me ajudaram a conquistar mais esta vitória na carreira profissional.

## RESUMO

A função primária de qualquer motor marinho ou motor de planta é converter a energia química de um combustível em trabalho útil e usar esse trabalho na propulsão do barco. Uma unidade de propulsão consta de máquinas, equipamentos e comandos que podem ser mecânicos, elétricos, ou hidráulicos conectados a um eixo de propulsão. Este trabalho aponta para um entendimento básico de como a unidade de propulsão de um barco trabalha, indicando os tipos principais de unidades de propulsão usadas na marinha e como se transmite poder da unidade de propulsão à hélice do barco pelo uso de engrenagens eixos, e embreagens.

**Palavras-chave:** Motor. Propulsão. Navio. Barco.

## **ABSTRACT**

The primary function of any marine engine or engine plant is to convert the chemical energy of fuel into useful work and to use this work for the propulsion of the boat. A propulsion unit consists of machinery, equipment and controls that can be mechanical, electrical, or plumbing connected to a propulsion shaft. This work points to a basic understanding of how the propulsion unit of a boat works, indicating the main types of propulsion units used in the Navy and how it is transmitted power of the propulsion unit to the propeller of the boat by the use of gear shafts, and clutches .

**Keywords:** Motor. Propulsion. Ship. Boat.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>Ilustração 1 – Máquina a vapor.....</b>	<b>16</b>
<b>Ilustração 2 - Diagrama esquemático de uma turbina de gás de dois eixos ....</b>	<b>21</b>
<b>Ilustração 3 – Navio Savannah.....</b>	<b>25</b>
<b>Ilustração 4 – Instalação propulsora de um submarino nuclear .....</b>	<b>26</b>

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	10
1 MÁQUINAS PRIMÁRIAS .....	12
1.1 TIPOS DE INSTALAÇÃO .....	13
1.1.1 Propulsão a vapor (combustível fóssil) .....	13
1.1.2 Propulsão por máquinas de combustão interna.....	14
1.1.3 Propulsão por Turbinas de Gás.....	14
1.1.4 Propulsão nuclear.....	14
2 SISTEMAS BASICOS .....	15
2.1 PROPULSÃO A VAPOR.....	15
2.2 PROPULSÃO POR MOTORES.....	18
2.3 PROPULSÃO POR TURBINAS DE GÁS.....	19
3 PROPULSÃO NUCLEAR.....	22
4 INSTALAÇÕES MISTAS .....	27
5 PROPULSORES .....	32
CONCLUSÃO .....	Erro! Indicador não definido.5
REFERÊNCIAS.....	367

## INTRODUÇÃO

O Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa dá como primeira acepção de PROPULSAR “Impelir para frente” e o Dicionário Michaelis online (UOL, 2012) enfatiza que propulsar é sinônimo de empurrar, de fazer avançar, levar para diante e não só em elemento material, MAS também algo imaterial, como pode ser uma idéia.

Referido ao âmbito naval, propulsar é fazer avançar um barco para que possa cumprir sua incumbência. O sistema de propulsão é, dessa forma, o conjunto dos elementos que permite que o barco se desloque de um ponto a outro através das águas em que opera e, portanto que possa cumprir sua missão de transportar cargas, se tratando de um navio mercante usual, de desenvolver tarefas especializadas como pode ser um aparelhador ou um navio dedicado a tarefas científicas ou ainda se tratando de um navio de guerra, de ser capaz situar, no momento oportuno e no lugar adequado, um conjunto de armas e sensores necessários para sua função defensiva e ofensiva.

Para um melhor entendimento do tema entende-se que o mais conveniente é ver todos os elementos que compõem a cadeia de propulsão, começando pelos sistemas de acionamento de que se dispõe, para seguir com as disposições mais usuais para que essas máquinas primárias sejam capazes de transmitir sua potência e falar finalmente do elemento último, o propulsor, que é o encarregado de gerar o impulso necessário para que o navio se desloque.

Seguindo com esta metodologia este trabalho se divide em 3 capítulos. O primeiro descreve as máquinas primárias de que se pode dispor ao configurar um sistema de propulsão.

O segundo apresenta os sistemas básicos de propulsão a vapor, por turbinas de gás dentre outros.

Para o terceiro capítulo destinou-se a propulsão nuclear.

O Quarto capítulo apresenta as instalações mistas.

O quinto e último capítulo trata dos propulsores, seguido das considerações finais e referências bibliográficas utilizadas nesta pesquisa.

## 1 MÁQUINAS PRIMÁRIAS

Toda máquina precisa de uma energia para seu funcionamento e esta energia se obtém dos combustíveis, combustível que pode ser de origem fóssil ou nuclear e tem de dispor de um meio de transformar a energia calorífica do combustível em energia mecânica.

Se o combustível é fóssil, como ocorre na imensa maioria das aplicações, dita transformação pode ser feita de uma das formas seguintes :

a) Queimando em um recipiente, a caldeira, onde a energia calorífica se transfere na água que contém para gerar vapor, o qual, a sua vez, atuando sobre a máquina adequada, uma turbina de vapor, produz o trabalho mecânico para acionar o propulsor.

b) Queimando-o diretamente no interior da própria máquina que desenvolve o trabalho mecânico, como no caso dos motores, e daí seu nome de máquinas de combustão interna.

c) Queimando-o diretamente em uma zona ou corpo de uma máquina e aproveitando o fluxo de gases para mover uma turbina, que faz parte da mesma máquina, e é a que efetua o trabalho mecânico. É o caso das turbinas de gás.

Se o combustível é nuclear a energia liberta-se ao submeter o núcleo fissionável ao bombardeio de nêutrons de baixa energia. O calor liberado no processo utiliza-se para produzir vapor que evolui em uma turbina para produzir trabalho mecânico.

O trabalho mecânico desenvolvido pela máquina utiliza-se para a propulsão do barco acionando normalmente um propulsor mecânico através de uma linha de eixos que une a saída da máquina com a hélice, que é um parafuso que se enrosca

em uma porca, a água, produzindo um movimento de avanço e, portanto a translação do barco.

Torna claro que, com objeto de que a instalação propulsora tenha o maior rendimento possível como sistema completo, é preciso que os elementos que a compõem tenham por separado o melhor rendimento a se obter.

Em muitas ocasiões o número de revoluções a que a máquina em si tem seu ótimo rendimento é muito diferente do que exige o propulsor e por isso nesses casos deve se interpor entre ambos uma unidade que faça compatíveis esses dois regimes diferentes. Este elemento é a engrenagem redutora ou mais simplesmente o redutor, normalmente mecânico, ainda que possa ser também em determinados tipos de instalação, elétrico ou hidráulico.

## **1.1 TIPOS DE INSTALAÇÃO**

Da combinação dos elementos assinalados no ponto anterior pode se já esquematizar os tipos de instalação mais usuais que são:

### **1.1.1 Propulsão a vapor (combustível fóssil)**

- Geração do vapor: Caldeiras de canos de água, com ou sem circulação forçada ou com ar pressurizado.

- Máquina propulsoras: Turbinas de vapor e Propulsão Turbo-elétrica

### 1.1.2 Propulsão por máquinas de combustão interna

- Motores diesel de dois ou quatro tempos: Lentos diretamente acoplados; semi-rápidas e rápidos engrenados; disposição diesel elétrico.

Ocasionalmente utilizam-se também motores de explosão como, por exemplo, em embarcações esportivas.

### 1.1.3 Propulsão por Turbinas de Gás

- Sozinhas com redutor de engrenagens
- Disposição turbinas de gás-elétrico

### 1.1.4 Propulsão nuclear

- Geração do vapor: Reator atômico PWR
- Máquina propulsora: Turbinas de vapor de características especiais

## 2 SISTEMAS BASICOS

A utilização das máquinas primárias nos diferentes tipos de instalação que foram descritas leva à necessidade de conhecer os sistemas básicos que utilizam combustíveis fósseis e são:

Propulsão a vapor

Propulsão por motores

Propulsão por turbinas de gás

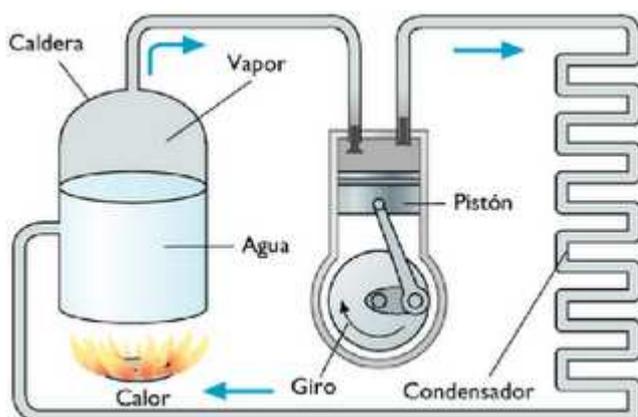
Capítulo aparte merece a propulsão que utiliza combustível nuclear, que ainda que como se pode observar é também uma propulsão por vapor onde suas especiais características fazem necessário um tratamento particular do sistema.

Dessa forma, apresentam-se sumariamente, cada um dos sistemas enunciados.

### 2.1 PROPULSÃO A VAPOR

Se prescindirmos da propulsão a remo e a vela, que foram indubitavelmente as primeiras formas mediante as quais se conseguiu a deslocação de um corpo na água, a propulsão a vapor foi, cronologicamente, a primeira a aparecer e tem sido o sistema por antonomásia durante muitos anos e ainda perdura para determinadas aplicações ainda que esteja sendo amplamente superada pelos motores diesel e as turbinas de gás, especialmente desde que a crise do petróleo do início dos anos 70 fez que o consumo de combustível passasse a ser um elemento capital dos custos de exploração.

A forma mais simples de ver o sistema é sobre um diagrama de uma instalação de vapor, ir mostrando e descrevendo sucintamente a cada um dos elementos que a compõem e a relação funcional entre eles. Tem se dessa forma uma visão de conjunto que permitirá obter uma idéia concreta de como funciona e quais os elementos que se necessitam para isso e que formam o que se denomina “cadeia do vapor”.



**Ilustração 1 – Máquina a vapor**

A caldeira contém água que, por meio do calor fornecido pela combustão do combustível nos queimadores, é vaporizado, onde o vapor sobe através dos tubos e é recolhido na parte superior ou coletor de vapor de onde volta a entrar entre as vigas do super aquecedor para sofrer um fornecimento de calor a pressão constante, aumentando assim sua entalpia, isto é, sua capacidade de produzir trabalho.

O vapor sobre aquecido vai trabalhar nas turbinas, primeiro na de alta e depois na de baixa onde se expande sucessivamente aumentando seu volume e produzindo trabalho que se traduz no giro do eixo propulsor através da engrenagem reductora.

O vapor, fortemente expandido, é recolhido em um recipiente onde reina o vácuo, o condensador principal, que sob as condições prevalecentes e da refrigeração que sofre pela água de mar que circula através dele, este vapor se condensa e transforma em água.

No condensador faz-se a adição de água de alimentação necessária para repor as perdas que sempre há no circuito e o condensado (água condensada) é recolhida pela bomba de condensado e passa ao “tanque desaireador que, como seu nome indica, tem por missão livrar o que vai ser água de alimentação da caldeira do ar (oxigênio) que possa levar dissolvido e a esquentar.

A água de alimentação recolhem-na as bombas de reforço e as bombas de alimentação principal, que lhe dão a pressão necessária para sua introdução à caldeira onde entra a uma pressão ligeiramente superior no que prevalece nela e a uma temperatura inferior, mas próxima à da água do interior para que o ciclo real se aproxima o mais possível ao ciclo teórico. A água, uma vez na caldeira, inicia de novo o ciclo já descrito.

Certamente o circuito principal precisa para seu funcionamento o concurso de circuitos auxiliares já que há que acionar as diferentes bombas, lubrificar e recolher o vapor que se utilize em diversos usos para aumentar o rendimento da instalação.

Para não entrar em descrições excessivas dos elementos que compõem a cadeia de vapor, pode se indicar somente que a turbina de vapor é uma máquina composta por um corpo giratório, o rotor, dotado de uns elementos situados em sua periferia, as palhetas, sobre os quais incide o vapor produzindo seu giro. Este corpo giratório se aloja em um invólucro fixo, que está localizado os orifícios e as coroas de paletas fixas que são necessárias para a expansão e direção do vapor.

Os tipos básicos de turbinas de vapor são dois: de ação e de reação. Nas de ação, o vapor, que tem aumentado sua velocidade a custa de uma queda de pressão nos bicos, move o rotor pela impulsão que exerce sobre as palhetas móveis, ao mudar de direção neles. Sua característica diferencial é que nelas só há caída de pressão nos bicos fixos e queda de velocidade nas palhetas móveis.

Na reação das paletas móveis são dispostos de modo que formam entre si um tipo de tubo, que dá lugar a que o vapor, ao circular entre elas, se expande e produz seu giro por reação e portanto, o seu nome. Por conseguinte neste tipo de

turbinas há queda contínua de pressão, aumento de velocidade nas laminas fixas e queda de velocidade nas laminas móveis.

## 2.2 PROPULSÃO POR MOTORES

O motor de combustão interna é um elemento tão familiar no cotidiano atualmente que naturalmente não se descreverão como funciona, ainda que no colóquio, pode se tratar amplamente deste tema. O sistema de propulsão preponderante no dia de hoje já que, sua extraordinária economia de funcionamento, com consumos da ordem dos 135 gramas /CV. H. converte-o na opção mais atraente para os navios mercantes.

Inclusive nas Marinhas de Guerra, onde pelo caráter alternativo do motor, e, portanto gerando mais ruído e vibrações que a propulsão por turbinas de vapor, não era aceito em certos tipos de barcos, como por exemplo, aqueles dedicados à luta anti-submarina, estão sendo já, não só considerados senão utilizados, dispendo montagens anti vibratórias e anti-ruídos especiais, tal como pode ser o encapsulado.

Em navios mercantes a disposição usual é que o motor vá diretamente acoplado ao eixo e em casos onde seja aconselhável possa ser instalado um ou vários motores acoplados ao eixo propulsor mediante a correspondente engrenagem. Em navios de guerra não de combate se utiliza já profusamente o motor diesel e em navios de linha a forma mais usual de encontrar a bordo é fazendo parte das chamadas “Instalações Mistas” às que se dedica um comentário posterior.

O motor de explosão não tem quase aplicação em propulsão de navios, salvo, naturalmente, em embarcações de recreio e esportivas, como antes assinaladas.

## 2.3 PROPULSÃO POR TURBINAS DE GÁS

Este é o mais moderno sistema de propulsão que existe dos que usam combustível fóssil cuja vantagem arraiga na insuperável relação peso potência que desenvolvem e pode ser dito que são o elemento primordial de propulsão dos navios de combate, tendo sido adotados por quase todas as Marinhas de Guerra do mundo.

No campo mercante tem tido também casos onde se instalou após um autêntico processo racional de seleção, mas a crise do petróleo de inícios dos anos 70 freou sua utilização em benefício do motor diesel, já que, conquanto os consumos das turbinas de gás modernas são aceitáveis, da ordem dos 180 gramas/CV.h. não podem competir com os 135 gramas/CV.h. do diesel à hora de conseguir uma exploração rentável, especialmente em momentos de crises como os atuais, onde se deve conter custos de qualquer forma.

Dado que este tipo de máquina é muito menos conhecida, descreve-se seus princípios de funcionamento para ver a seguir sua forma de utilização.

Quando se fala da turbina de gás em sua aplicação naval refere-se sempre (salvo que se diga outra coisa) às turbinas marinhas derivadas das aeronáuticas que propulsam os aviões a reação, não só porque a aplicação naval se beneficiou do alto grau de desenvolvimento e aperfeiçoamento das turbinas de avião, mas também porque se trata de uma máquina muito simples que permite obter grandes potências com tamanhos e pesos muito pequenos. Nisto reside seu grande atrativo para ser adotada nos navios de guerra.

A turbina de gás é uma máquina que trabalha segundo o chamado ciclo de Brayton, no qual o fluido (em teoria um gás perfeito) sofre uma compressão a entropia constante em um compressor, seguida de um aquecimento a temperatura elevada e pressão constante em uma câmara de combustão, para expandir-se depois isentropicamente em uma turbina até a pressão de aspiração inicial do

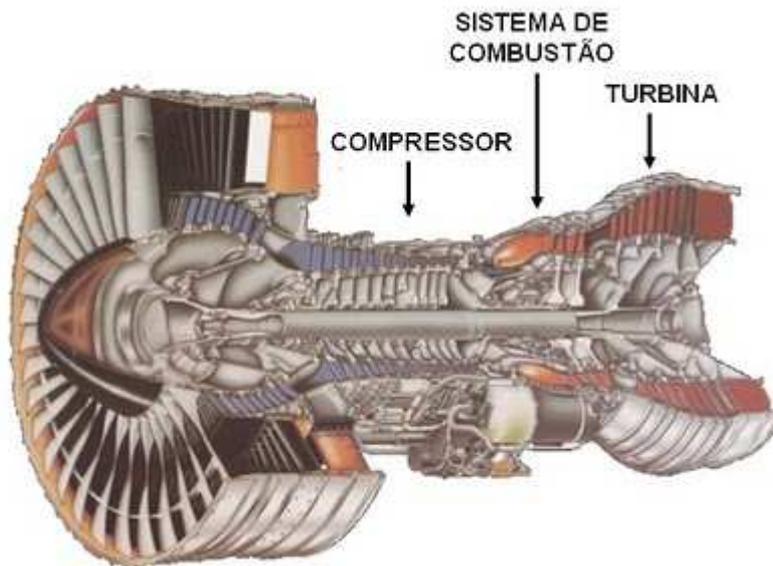
compressor. Como o trabalho desenvolvido na expansão é maior que o absorvido na fase de compressão, tem-se um trabalho útil disponível que é o que se utiliza para a propulsão ou qualquer outro serviço segundo a aplicação de que se trate.

Trata-se pois de uma máquina de ciclo aberto, já que o fluido que evolui se exausta, isto é, o que começa o novo ciclo não é o mesmo que realizou o anterior, e é também uma máquina à que, em sentido estrito não se pode chamar de combustão interna, já que o fluido que vai trabalhar na turbina pode ser gerado fora da máquina que o vai utilizar. De todo modo como nas disposições usuais o gerador de gás e a turbina propriamente dita formam um todo contínuo e único, pode-se denominar uma pseudo máquina de combustão interna.

Importante realçar que é isso que se denomina gás, o fluido que trabalha na máquina, e, portanto é na realidade uma mistura de ar limpo e produtos de combustão em uma proporção de 75/70% de ar e 25/30% de produtos.

Como no caso do vapor, descreve-se sobre a figura os principais componentes de uma turbina de gás, centrando na de dois eixos por ser a mais representativa.

O ar atmosférico é aspirado pelo compressor, geralmente axial, no qual o ar se vê obrigado a passar em espaços menores sofrendo uma compressão, para passar seguidamente a uma câmara de combustão onde se injeta o combustível, que se queima com um grande excesso de ar. O fluido resultante é o gás que incide sobre a turbina de alta, que por sua vez aciona o compressor, e após se ter expandido nela passa à turbina de potência (ou de baixa) que é onde produz o trabalho necessário para a propulsão. Finalmente se exausta à atmosfera.



**Ilustração 2 - Diagrama esquemático de uma turbina de gás de dois eixos :**

Como pode ser observado se distinguem na máquina duas zonas bem determinadas: a zona de geração de gás, com os extremos de frio e quente e a zona de potência e na figura aprecia-se claramente o que se expôs de que não há ligação mecânica entre ambas, conquanto existe a ligação física do fluido que evolui nelas.

Para não se estender mais, comenta-se que a aplicação da turbina de gás tem de se fazer sempre mediante uma engrenagem redutora já que a saída da turbina de potência é da ordem de 3.500 r.p.m. e a velocidade da hélice tem de ser consideravelmente menor.

A disposição pode variar muito: uma única turbina movendo o eixo: duas turbinas sobre um redutor com saída única e inclusive uma única turbina com duas saídas (navio de duas hélices).

Mesmo que atualmente já existem muitas instalações onde se utilizam um único tipo de turbinas de gás, o usual é utilizar como máquina de potência em instalações mistas, associadas a motores diesel ou a outras turbinas de gás de menor potência utilizadas para a velocidade de cruzeiro.

### 3 PROPULSÃO NUCLEAR

Conforme assinalado anteriormente, um capítulo a parte merece este tipo de propulsão tão especial e tantas vezes atacado, pois conquanto tem riscos inerentes a seu funcionamento, a verdade é que são bem conhecidos e atualmente se tomam tal quantidade de precauções para os evitar que a possibilidade de que se produzam é realmente remota.

Outro ponto é que em algum momento algumas nações utilizadoras do sistema tivessem corrido riscos desnecessários, na ordem de encurtar prazos de disponibilidade, tanto em proposta como em controle de qualidade, construção, operação, etc. E que conduziram a desastres em sua aplicação naval, que, se pode insistir, com a tecnologia atual e com a metodologia de segurança existente, a possibilidade de que se produza um acidente catastrófico é realmente mínima.

A propulsão nuclear é basicamente uma propulsão a vapor e ademais a vapor e de não muito elevadas características, já que, o próprio processo nuclear não permite ter temperaturas muito elevadas do vapor obtido, como é sempre de desejar para aumentar o rendimento do ciclo.

A diferença com o sistema de vapor convencional é que no nuclear a caldeira se substitui por um reator, no qual se verifica o processo de fissão controlada que dá lugar a um desprendimento de calor, que é o que se utiliza para vaporizar a água. Este vapor é o que, na forma habitual, desenvolve trabalho em uma turbina.

Centrando no reator nuclear, autêntico coração do sistema, pode se dizer que o fundamento do mesmo é o fenômeno da fissão nuclear. Existem certos elementos químicos pesados cujos núcleos, ao ter uma verdadeira instabilidade, são suscetíveis, mediante o bombardeio de nêutrons de baixa energia de excindir-se em dois núcleos aproximadamente iguais, mais rápidos, com produção de novos nêutrons e um defeito de massa resultante.

Este defeito de massa aparece em forma de energia calorífica, em virtude da conhecida Lei de Einstein  $E = m \cdot c^2$ , em a qual  $E$  é a energia,  $m$  a massa e  $c$  a velocidade da luz.

A importância do processo reside em que, se o número de nêutrons que aparece em cada fissão seja suficiente, a reação pode ser auto mantida, já que estes nêutrons podem ser usado para manter indefinidamente o processo de fissão enquanto tenha material fissionáveis.

Em determinações experimentais comprovou-se a média de nêutrons emitidos pela fissão de determinados materiais radioativos, obtendo o seguinte resultado :

Plutônio 239 - 2,91 nêutrons/fissão

Urânio 235 - 2,47 nêutrons/fissão

Estes nêutrons aparecem com energias elevadas da ordem de 1 ou 2 Mev. Como já se observou que só são suscetíveis de produzir fissão os nêutrons de baixa energia, será necessário “moderar” os nêutrons emitidos de forma que se rebaixe sua energia até níveis lentos ou térmicos, com energias ao redor de 0,1 ev. Isto se consegue mediante choques dos nêutrons rápidos com o elemento moderador, que é peça essencial de um reator.

Por outro lado, 99% dos nêutrons produzidos na fissão são emitidos em um muito curto espaço de tempo, são os chamados nêutrons “instantâneos” da ordem de  $10^{-14}$  segundos, o qual faria praticamente impossível o controle do reator, de não se dar a circunstância de que 0,75% dos restantes se emitam um tempo considerável após a fissão. São os nêutrons “retardados” que, ao fazer aumentar o chamado “período do reator” tornam possível o controle físico do processo de fissão e portanto a viabilidade prática do mesmo.

Em cada fissão se desprende uma verdadeira quantidade de energia que, centrando no combustível nuclear habitual, o Urânio 235, é da ordem de 200 Mev por fissão. A energia obtida no reator dependerá, portanto, do número de fissões que se realizem que são a sua vez função do número de nêutrons suscetíveis de produzir fissão. A potência do reator depende pois da densidade neutrônica e é esta que deve controlar para obter os diferentes níveis de potência desejada.

Uma vez que pára que o processo de fissão se mantenha é necessário que o número de nêutrons úteis permaneça estável, é oportuno definir o “fator de multiplicação do reator” que é a relação do número de nêutrons de uma geração ao existente na geração imediatamente anterior.

Se este fator  $K$  tanto faz a 1 a reação é possível e mantém-se. Se é menor que  $K$ , a reação em corrente se extingue e se é maior que 1 se mantém em forma crescente. Se o valor é 1 o reator é “crítico”; “supercrítico” se é maior que 1 e “subcrítico” se é inferior à unidade.

No caso do Urânio 235, já que em a cada fissão produzem-se 2,5 nêutrons como média, ao menos um deles tem de ser capaz de produzir nova fissão se a reação tem de se manter. Isto é, o número de nêutrons que se perde por todos os conceitos: capturados por outros núcleos, escapados do reator, captura por produtos de fissão, etc., deve de permitir que fique disponível um número de nêutrons tal que, multiplicados por 2,5 (média por fissão) dêem lugar ao mesmo número de nêutrons que entraram em jogo na reação imediatamente precedente.

O controle do processo faz-se por meio das chamadas “barras de controle” material de grande capacidade de absorção de nêutrons, com o qual, lhe introduzindo mais ou menos no interior das barras de combustível permite obter o nível de potência desejando fazendo crítico o reator a esse nível. As barras de controle vão dotadas de um dispositivo que permite sua introdução rápida de forma que, em caso de acidente grave (scram) se detenha de imediato o funcionamento do reator.

A água que refrigera o núcleo do reator e que é a que se utiliza para retirar o calor produzido constitui o circuito primário. Esta água está contaminada e, portanto faz falta dispor um circuito secundário limpo que troque calor com o primário e produza o vapor que vai trabalhar nas turbinas. Este intercâmbio verifica-se em uma espécie de caldeira que é em realidade um trocador de calor autêntico.

A disposição completa da instalação, que pelo demais é um sistema de vapor normal, foi utilizada pelo Navio “Savannah” de transporte de passageiros e carga com propulsão nuclear (1959 -1972).



**Ilustração 3 – Navio Savannah**

Importante salientar finalmente que, ainda que há vários tipos de reatores, o que se utiliza a bordo dos barcos é o de “água a pressão” ou PWR (Pressurized Water Reator), no qual o núcleo se mantém a pressão, para que a água não ferva em seu interior.

No que se refere à utilização prática da propulsão nuclear está circunscrita praticamente às Marinhas de Guerra das nações mais avançadas e sobretudo é a solução ideal para submarinos balísticos aos que permite um tempo de operação só limitado pela resistência das dotações com capacidade de permanecer submerso sem limitação alguma. É, portanto o sistema de eleição para submarinos e também de grandes vantagens para porta aviões.

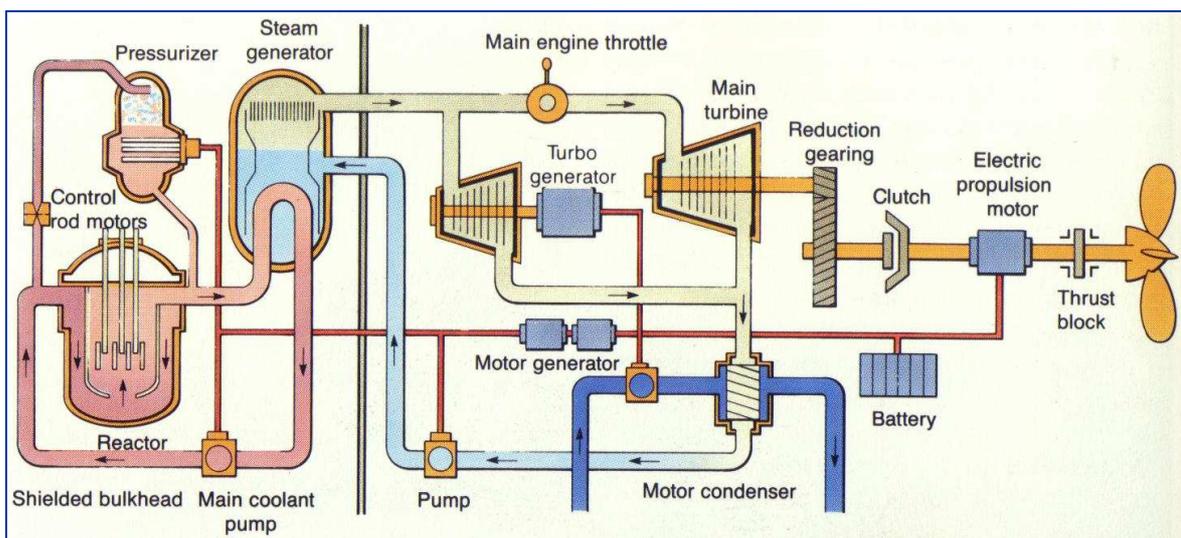


Ilustração 4 – Instalação propulsora de um submarino nuclear

## 4 INSTALAÇÕES MISTAS

Após a explanação dos sistemas básicos e que na maior parte das aplicações se instalam sozinhos, o que significa que o barco vai propulsado por vapor, por motores, por turbinas de gás, ou por um sistema nuclear, há ocasiões, especialmente em navios de guerra onde é conveniente dispor e operar o que se denomina uma instalação mista.

Uma instalação considera-se mista, no sentido mais amplo da palavra quando utiliza várias máquinas sejam ou não do mesmo tipo e sejam ou não das mesmas características para dar as diferentes velocidades.

Nesta definição ficam pois incluídas aquelas instalações onde por exemplo se utilizam dois moto redutores já que pode ser fracionada a potência ao eixo de forma que seja a de um único motor ou do funcionamento dos dois conjuntamente.

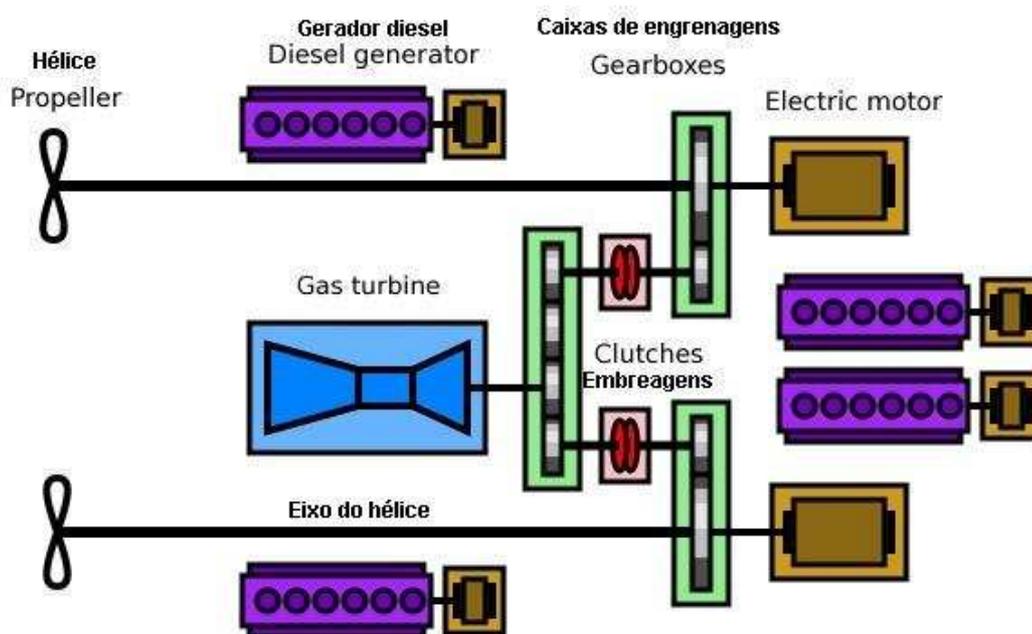
Em um sentido mais restringido e onde o conceito de instalação mista tem autêntico significado é nos navios de guerra. Em um navio mercante opera-se normalmente durante toda a navegação a velocidade uniforme, que se mantém até render viagem. Em mudança nos navios de guerra é tal a diferença de situações em que pode ser encontrado, que é neles onde este tipo de instalações tem aplicação específica e racionaliza a utilização da máquinas.

Na contramão do que pode parecer lógico, o número de horas que um navio utiliza a “toda força” é reduzidíssimo comparado com as horas totais de navegação ou com as que fazem à velocidade econômica ou de cruzeiro. De estatísticas tomadas da II Guerra Mundial e de operações navais tem-se visto que as horas a plena potência são da ordem do 5-10% das totais navegadas.

Por isso parece lógico, se existe possibilidade, dispor dois tipos de máquinas, uma de baixo consumo que proporcione a relativamente pequena potência que se precisa para a velocidade de cruzeiro e outra, o mais ligeira e compacta possível,

para que dê ela sozinha ou ajude a dar a plena potência, ainda que seu consumo específico seja maior, já que é pouco o tempo relativo que vai atuar.

Em a figura vemos as combinações mais usuais, cuja designação começa sempre por CO, iniciais da palavra inglesa “COMBINED”, seguidamente se coloca a inicial da máquina que se usa para dar velocidade de cruzeiro : S de steam = vapor, D de diesel e G de gás” = turbina de gás. A seguir figura a letra “Ou” ou a letra “A” iniciais de “or” ou “and” significando a “Ou” que a máquina de toda força atua sozinha nessa situação e a “A” que a potência da máquina de toda força se soma à de cruzeiro para dar a plena potência. Por último a letra final, S, D ou G indica assim mesmo o tipo de máquina utilizada para dar, sozinha ou com a de cruzeiro, a máxima potência.



**Ilustração 5 - O sistema propulsor CODLAG**

As combinações mais utilizadas são as que se mostram e estão citadas sensivelmente de acordo com seu aparecimento no tempo. Algumas dessas combinações, concretamente a COSAG já não se utiliza pela complexidade tão tremenda que supõe o levar a bordo simultaneamente vapor e gás. Foi, no entanto a evolução lógica do existente e conhecido, que era o vapor, para uma instalação

combinada. A Marinha Inglesa, que foi a que a utilizou, passou rapidamente a instalações “tudo gás”.

#### 4.1 INSTALAÇÕES MISTAS MAS USUAIS

COSAG	COMBINAÇÃO VAPOR E TURBINA DE GÁS
CODAG	COMBINAÇÃO DIESEL E TURBINA DE GÁS
CODOG	COMBINAÇÃO DIESEL Ou TURBINA DE GÁS
COGAG	COMBINAÇÃO TURBINA DE GÁS E TURBINA DE GÁS
COGOG	COMBINAÇÃO TURBINA DE GÁS Ou TURBINA DE GÁS
CODAD	COMBINACIÓN DIESEL E DIESEL
CODLAG	COMBINAÇÃO DIESEL ELECTRICA E TURBINA DE GÁS

Segundo Naval (2012) são os seguintes, os sistemas de propulsão mistos:

<b>SISTEMAS DE PROPULSÃO MISTOS</b>
<p><b>COGOG</b> - (<i>Combinated Gas or Gas</i>). Neste tipo de arranjo, dois conjuntos diferentes de turbinas a gás formam o sistema de propulsão do navio. Utiliza-se uma turbina de menor consumo para baixas velocidades e cruzeiro. Em regimes mais altos, as turbinas de menor potência são desacopladas e entram em ação as turbinas de alto rendimento. As Kortenaer (hoje operadas pela Grécia e EAU) são exemplos típicos. Outras classes que trabalham com COGOG são MEKO 360 (Argentina), Tipo 42 (GB e Argentina), Tipo 21 (Paquistão), Tipo 22 lote 1 (Brasil), Hatsuyuki (Japão), Kara e Slava (Rússia).</p>

**COGAG** - (*Combinated Gas and Gas*). Semelhante ao anterior, mas neste caso os dois tipos de turbina a gás operam conjuntamente em altas velocidades. Este tipo de propulsão era muito comum nos projetos russo/soviéticos (Udaloy, Krivak, Kashin), assim como na Grã Bretanha (Tipo 22 lotes 2 e 3) e Japão (Murasame, Asaguri e Hatakaze). Projetos como a classe Takanami (Japão) e Talwar (Índia) são exemplos recentes do uso de COGAG.

**CODOG** - (*Combinated Diesel or Gas*). Tipo de propulsão que combina motores diesel com turbina a gás. Neste arranjo, utilizam-se motores diesel para velocidades até cerca de 18 nós (faixa mais econômica), enquanto a turbina a gás é destinada a manobras rápidas e altas velocidades. Um grande número de países adotou este sistema incluindo a Austrália, Portugal, Nova Zelândia, Itália (MEKO-200), Brasil (Niterói e Inhaúma), Canadá (Halifax), França (Georges Leygues), Alemanha (Brandenburg), Japão (Abukuma, Ishikari e Yubari), Espanha (Álvaro de Bazán), Peru e Venezuela (Lupo).

**CODAG** - (*Combinated Diesel and Gas*). Difere do sistema CODOG em regimes de alta pois, neste caso, os motores diesel trabalham em conjunto com as turbinas a gás. Esse tipo de propulsão era comumente utilizado em embarcações entre 300t e 1600t (como a classe russa Koni, utilizadas pela Argélia, Bulgária e Líbia, e a classe sueca Stockholm). Projetos recentes entre 3.500t e 6.000t estão adotando a propulsão CODAG (o programa ítalo-francês Horizon, as novas fragatas alemãs classe 124, e as MEKO A-200 da África do Sul)

**CODLAG** - (*Combinated Diesel-Electric and Gas Turbine*). O CODLAG é um arranjo tipo CODAG acrescido de motores elétricos. Nesta combinação busca-se acima de tudo requisitos operacionais que demandam níveis de ruídos ultrabaixos. Quando o sonar de reboque está em operação, os motores elétricos são acionados por geradores diesel, permitindo assim uma baixa velocidade e um nível de ruído extremamente reduzido. O exemplo mais típico dessa combinação é a classe Tipo 23.

**CODAD** - (*Combinated Diesel and Diesel*). Trabalha de forma semelhante ao COGAG, possuindo um conjunto de motores (geralmente dois) em atividade para baixas velocidades e todo o sistema (geralmente quatro motores) trabalhando para desempenho máximo. Este sistema possui como vantagem reduzir bastante a tubulação, liberando espaço para outros fins (sensores e armamentos por exemplo). As fragatas francesas classe Cassard são o melhor exemplo de propulsão CODAD. Mais recentemente, os franceses reutilizaram a fórmula na classe La Fayette.

**COSAG** - (*Combinated Steam and Gas*). Neste arranjo, a turbina a vapor faz a função do motor a diesel para regimes mais econômicos. Em altas velocidades, os dois atuam conjuntamente. É um sistema praticamente extinto e somente alguns poucos navios obsoletos o utilizam (três classe County do Chile e três classe Tribal da Indonésia).

**CONAS** - (*Combinated Nuclear and Steam*). Neste tipo de arranjo um sistema composto por caldeiras alimenta as turbinas a vapor para velocidades de cruzeiro (entre 14 e 17 nós). Num outro arranjo paralelo, reatores nucleares alimentam um outro grupo de turbinas a vapor. Os reatores podem ser desligados e o navio operar somente com as caldeiras. Mas ambos podem ser acionados conjuntamente para obter altas velocidades (acima de 30 nós). Os únicos navios conhecidos que possuem sistema CONAS são os cruzadores russos da classe Kirov (Projeto 1144.2 Orlan).

## 5 PROPULSORES

São o último elemento da cadeia de propulsão e o encarregado de mover finalmente o barco, mediante a potência fornecida pelo sistema de propulsão. A hélice é o propulsor mais comum e não é nem mais nem menos que um parafuso que se aparafusa em uma grande porca não sólida que constitui a água.

A hélice, ao girar acionada pelo eixo propulsor que a enlaça com o motor ou máquina principal, vai enroscando-se na água e, igualmente ao que ocorre com um parafuso qualquer, avança e produz o movimento do barco que está fixada por meio de um rolamento de impulso, sobre a qual se produz o impulso para frente (avante) ou para trás segundo o sentido de giro da hélice.

Naturalmente que ao ser a massa de água uma porca “móvel” aparecem algumas condições particulares de funcionamento que fazem que o rendimento da hélice não seja todo o bom que se deseja, mas estudando cuidadosamente seu desenho e mediante as oportunas provas em Canal de Experiências Hidrodinâmicas, junto com a carena do barco a que tem de propulsar se conseguem os melhores resultados possíveis.

Existem outras formas de propulsão, como o jorro de água, que consiste em lançar por meio de um sistema adequado de bombas uma massa de água para trás através de um bocal do tipo duto, de forma que ao sair a uma determinada velocidade para trás produza, por reação, um movimento do barco para frente.

Para ir para trás é necessário neste caso dotar à instalação, à saída do duto, de um desviador de empurre que, quando se deseje, produza a deflexão do jato para frente, fazendo que o barco se desloque para trás.

Importante citar também os propulsores circulares tipo Voith-Schneider que permitem vetorizar seu empurre em 360° com o qual o barco em que se instala pode

manobrar com toda precisão avante, atrás ou se deslocar lateralmente em qualquer direção.

Utiliza-se em rebocadores, e geralmente em navios pequenos que precisam de uma excelente manobrabilidade e que não requerem o uso de grandes potências propulsoras.

Em qualquer caso a hélice, com todos seus defeitos, é o propulsor por excelência, susceptível de ser utilizada em navios de todos os tamanhos e aplicações e que, com um projeto cuidadoso e com a devida experimentação junto com a carena com que tem de trabalhar, produz alguns excelentes resultados.

## CONCLUSÃO

Nos últimos anos estamos assistindo uma autêntica revolução no campo da propulsão de navios, pois os projetistas estão desenhando e realizando combinações “ad hoc” de máquinas propulsoras para conseguir uma instalação versátil e que satisfaça todos os requisitos de funcionamento.

A título de exemplo apresenta-se um sistema de propulsão diesel-elétrica em navios de cruzeiro, que tem sido amplamente divulgado nas revistas técnicas especializadas.

Propulsão diesel-elétrica é aquela em que os motores diesel de propulsão, no lugar de ir diretamente acoplados ao eixo ou eixos propulsores acionam alternadores que produzem a energia elétrica necessária para a propulsão e todos os demais serviços do navio. Em concreto a propulsão efetua-se por meio de motores elétricos situados na proximidade da hélice, evitam-se os longos eixos de transmissão e tem-se uma maior flexibilidade de desenho.

As vantagens de uma instalação deste tipo são:

a) A mais significativa é que tanto motores primários como motores elétricos de acionamento podem estar situados praticamente em qualquer parte do barco e, portanto, a flexibilidade de instalação e disposição a efeitos de danos (importantíssima em sua aplicação a navios de guerra) está garantida.

b) Os motores de propulsão podem ser situados bem na popa ou nos chamados AZIPODS ou mastros azimutal dando lugar a linhas de eixos muito curtas ou inexistentes.

c) Podem ser unificado os geradores que forneçam as necessidades de potência requeridas, tanto para a propulsão principal como para os restantes serviços.

d) Ao ser a transmissão da energia elétrica por meio de cabos, podem ser levado praticamente sempre pelo percurso mais conveniente e sua proteção é bem mais simples que quando, como ocorre nos sistemas atuais, os eixos propulsores são longos, chegando às vezes a um terço do comprimento ou mais.

e) Por outro lado se prescinde, por sua própria essência, das engrenagens redutoras fazendo desnecessária a utilização de hélices de passagem variável.

f) Em caso necessário pode ser aumentado facilmente a potência instalada, mediante a adição de novos geradores situados naquelas zonas ou lugares em que seja mais conveniente o fazer se é que existem condicionantes limitativos importantes.

No fundo do que se expôs é de uma instalação mista, tal como se definiu anteriormente e por isso se figurou como instalação CODLAG, combinação diesel-elétrica e turbina de gás.

Pode-se seguir com outras muitas questões relacionadas com a propulsão, mas imagina-se que uma vez que se apresentaram os aspectos mais relevantes do tema, é importante lembrar que um maior conhecimento dos barcos possa induzir o aumento do amor e respeito pelas coisas da mar.

## REFERÊNCIAS

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

FREIRE, P., R., M., FERREIRA, C., L., “Propulsão Elétrica – Histórico e Perspectivas Futuras”, 20º Congresso Nacional de Transporte Marítimos, Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2004, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA, 2004.

MARTINS, Rafael Marques. Sistemas de máquinas de propulsão marítima. Monografia (conclusão de curso) 67f. 2012. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro, 2012.

NAVAL. Disponível em <http://www.naval.com.br/>. Acesso em 20 jul. 2012.

SILVA, Jose Maria. Sistema de propulsão elétrica em embarcações. Monografia (conclusão de curso) 53f. 2009. Centro de Instrução Almirante Graça Aranha. Rio de Janeiro, 2009.

PEREIRA, N., N., BRINATI, H., L., “Estudo do Impacto da Propulsão Diesel-Elétrica Na Emissão de Gases Poluentes”, 22º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore – EXPONAVAL 2006, Sociedade Brasileira de Engenharia Naval – SOBENA, 2006.

TAGART, Robert. Marine propulsion: Principles & Evolution. Houston, Texas: Gulf Publication Company.

VON SYDOW, Hermano Alfredo Hebert. Manual de máquinas de combustão interna. Rio de Janeiro: Escola Naval, 1961.