



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

AMAURI PHILIPPE BONFADINI DE SOUZA



**FORMAÇÃO DE ESTEIRA E VIBRAÇÕES EM
NAVIOS DE PROPUSÃO MODERNA E OS
EFEITOS NA NAVEGAÇÃO**

**RIO DE JANEIRO
2013**

AMAURI PHILIFE BONFADINI DE SOUZA

**Formação De Esteira E Vibrações Em Navios De Propulsão Moderna E Os Efeitos
Na Navegação Moderna.**

Monografia apresentada 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. HERMANN REGAZZI GERK

Rio de Janeiro
2013

AMAURI PHILIFE BONFADINI DE SOUZA

**Formação De Esteira E Vibrações Em Navios De Propulsão Moderna E Os Efeitos
Na Navegação Moderna.**

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

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador (a): Mestre Hermann Regazzi Gerck

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

A minha família que me apoiou em todos os meus projetos.

A minha namorada que foi meu porto seguro.

Aos amigos que me ajudaram a vencer os obstáculos

da nossa formação e realizações.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Severino, Presidente do SINDMAR, que me ajudou a realizar a viagem para a Alemanha, onde, além dos novos conhecimentos adquiridos, pude coletar mais dados para esta monografia.

Ao professor Henrique Vaicberg, que me acompanhou à Alemanha e tanto me ajudou na realização da pesquisa quanto aos assuntos relacionados ao Voith Schneider Propeller.

Ao Vice Presidente de Pesquisa e Desenvolvimento da Voith Turbo Schneider Propulsion, Dr. Dirk Jürgens, e à sua equipe, pela excelente recepção em suas instalações em Heidenheim, Alemanha. No qual, proporcionou o enorme aproveitamento sobre os recursos existentes na empresa.

Ao engenheiro Michael Palm responsável pela engenharia e design do Voith Schneider Propeller, que muito me acrescentou sobre efeito de esteira e explicações.

Ao Prof. Hermann Regazzi Gerk no fundamental apoio para na organização e conclusão de toda a pesquisa, na qual o foi paciente ao orientar esta monografia, no direcionamento da pesquisa, sugestões e apontamentos os quais foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aprendi que não se deve medir o sucesso pela posição que a pessoa alcançou na vida, mas pelos obstáculos que ela teve de superar enquanto tentava ser bem-sucedida.
(BOOKER T. WASHINGTON)

RESUMO

Através das décadas o comércio mundial cresceu e com ele os navios que o sustentam. Mas mesmo que a tecnologia de motores tenha se desenvolvido e haja combustível em abundância, engenheiros e designers sempre estão em busca da máxima eficiência.

Então os olhos desses profissionais voltaram-se para a interação entre o casco, o hélice e o mar.

Dentro dessa confluência de interações físicas, vem se tornando cada vez mais evidente o efeito de esteira (Wake effect). Tal efeito é ocasionado pelo movimento natural do deslocamento do navio sobre a água, é decorrente do movimento da água que ao ser empurrada pela carena do navio se locomove para cobrir o vácuo deixado pelo deslocamento do navio, fazendo com que o propulsor rotacione em um meio não homogêneo para todas as suas posições de rotação, gerando uma diferença de velocidade entre o movimento da carena e o movimento do propulsor.

Esse efeito reflete diretamente em vibrações e problemas de navegabilidades que podem des de impedir de um navio viajar em uma certa velocidade afetar sua manobrabilidade.

Entretanto, estudos mais recentes vêm provando, que, as técnicas, antes impensáveis, de efeito de esteira (Wake effect), são mais corretas aos navios, pois, reduzem os efeitos aditivos hidrodinâmicos no casco, - conhecidos como equalizadores de fluxo, tornando bem mais úteis e seguro, para incrementar a hidrodinâmica das embarcações, dando a mesma economia de combustível e maior velocidade à navegação, além da estabilidade, o que acaba gerando economia em todos os aspectos para à navegação, seja, pessoal, logístico, tempo, combustível, despesas, etc. .

ABSTRACT

Through decades of world trade grew and with it the ships that sustains. But even if the engine technology has been developed and there is fuel in abundance, engineers and designers are always in search of maximum efficiency. Then the eyes of these professionals turned to the interaction between hull, propeller and the sea.

Within this confluence of physical interactions, is becoming increasingly evident the effect of treadmill (Wake effect). Such an effect caused by the natural movement of the displacement of the ship on the water. It caused the water to be pushed to the keel of the ship moves around to cover the void left by the displacement of the ship. Causing the propeller rotate in a non homogeneous for all positions of rotation.

What generates a speed difference between the movement and the movement of the keel of the propellant. This effect is directly reflected in vibrations and problems navegabilidades des q can prevent a ship traveling at a certain velocity affect its maneuverability.

However recent studies are proving previously unthinkable way to reduce this effect with additives to hydrodynamic hull. Known as flow equalizers, are proving very useful to improve the hydrodynamics of vessels giving the same fuel economy and higher speeds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1: Diferença de velocidades para cada pá.....	15
Ilustração 2: Elementos das Pás.....	17
Ilustração 3: Distribuição de pressões.....	21
Ilustração 4: Desenho demonstrativo.....	25
Ilustração 5: Skeg.....	26
Ilustração 6: Schneekluth aplicado a um navio de 207,40 metros.....	26
Ilustração 7: Tabela de comparação.....	27
Ilustração 8: Comparação de pressão.....	30
Ilustração 9: Exemplo do duto depois de instalado.....	31
Ilustração 10: Modelo de teste em computador.....	32
Ilustração 11: Modelo de teste em escala.....	32
Ilustração 12: Foto do Spoiler.....	33
Ilustração 13: Projeto.....	33
Ilustração 14: Aplicação.....	34
Ilustração 15: Gráfico de desempenho.....	35
Ilustração 16: Representação do Turbo Fin.....	36

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 INTERAÇÕES ENTRE PROPULSÃO E O CASCO	11
1.0 Problema.....	11
1.1 Máquinas a Vante	11
1.2 Máquinas a Ré.....	11
1.3 Hydrofoils	11
1.4 Fins.....	12
2 FORMAÇÃO DE ESTEIRA	13
3 DETALHES CONSTRUTIVOS SOBRE CONSTRUTIVOS SOBRE POPULSORES MARÍTIMOS	16
4 DETALHES CONSTRUTIVOS SOBRE CASCO DE EMBARCAÇÕES	19
5 VIBRAÇÕES EM NAVIOS MERCANTE	22
6 DISPOSITIVOS EQUALIZADORES DE ESTEIRA	23
6.0 Duto ou “Kort” Nozzle.....	24
6.1 Skeg.....	25
6.2 Duto “Schneekluth”	26
6.3 Redução de Vibrações no nível da super-estrutura	28
6.4 Duto “Mewis”.....	30
6.5 Duto Mitsui.....	33
6.6 Alhetas (Spoiler).....	33
6.7 Cilíndro Rotativo.....	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	38

INTRODUÇÃO

Uma breve historia sobre como os cascos e os propulsores se desenvolveram, através dos séculos.

A propulsão a vela e o principal meio de se transportar mercadorias, mas com o tempo, percebeu-se que esse tipo de propulsão limitava o tamanho do navio. Com o passar dos séculos e o aumento das trocas comerciais e da tecnologia. Desenvolveram-se navios com propulsão mecânica que poderiam ser muito maiores e conseqüentemente ser mais eficientes no aspecto comercial. Então rapidamente o tamanho do navio foi aumentando no longo do tempo.

Assim surgiu a necessidade de estudo mais aprofundada sobre o propulsor para que chegasse a maior eficiência possível. Mas não foi dado ao casco maior importância a sua fluabilidade e a sua efetividade hidrodinâmica.

Essa falta de atenção gerou, entre outros, um problema físico chamado Efeito de Esteira (Wake Effect).

Esse inconveniente no projeto, gera problemas sérios de vibração e eficiência.

A mudança de paradigma veio a ocorrer mais atualmente, quando as interações entre o casco e o propulsor estão sendo estudadas. O embasamento teórico em sua maioria para esse estudo vem da aerodinâmica, que se empenha, em buscar a eficiência dos hidrofólios e superfícies que usam as diferenças de pressão a favor da embarcação para que tenha sua efetividade aumentada. Essa diretriz provou ser muito útil para aplicações, vários avanços foram desenvolvidos nesses últimos anos.

Mas tais incrementos ainda estão evoluindo e se tornando cada vez mais eficazes. Mas mesmo assim esse tipo de estudo ainda não é obrigatório durante as fases de design de projeto de um navio.

Neste trabalho será apresentado mais densamente os problemas para reduzir o efeito de esteira nas embarcações. Os estudos matemáticos envolvidos e as soluções encontradas para reduzir o efeito de esteira nas embarcações.

CÁPITULO I

INTERAÇÕES ENTRE PROPULSÃO E O CASCO

1.1: O PROBLEMA

O aumento do comércio mundial impactou diretamente no aumento da arqueação bruta do navio. Tal crescimento na boca do navio aumentou o efeito da esteira sobre as embarcações, tornando mais perceptível a seus projetistas. Os problemas, principalmente estava nos navios de grande porte como VLCC (very large cargo carrier) ou ULCC (ultra large cargo carrier).

O maior problema gerado é a redução de eficiência devido a relação entre o propulsor e o casco, além disso, havia um aumento das vibrações a bordo. Para compensar essa perda de eficiência gastava-se mais com aumento da potencia dos motores empregados, maior consumo de combustível, maior demanda mecânica nas pás das hélices.

Para buscar pela maior eficiência precisava se pensar na forma e número da pá do hélice e como ela iria se ligar ao Bosso.

Antes de começar a discorrer sobre o tema é necessário explicar os conceitos básicos de hidrodinâmica, para que o leitor não tenha dúvidas sobre as explicações que viram a seguir.

1.1.1: Máquinas a Vante

Durante a utilização da máquina para mover o navio a vante utiliza a admissão de fluxo não homogêneo. A descarga do propulsor se faz sobre o leme e para a efetividade máxima na propulsão faz se importante saber se os hidrofólios estão atendendo corretamente as necessidades hidrodinâmicas do navio ao qual estão instalados.

1.1.2: Máquinas a Ré

A descarga do propulsor se faz sobre a carena. Usando meio mais homogêneo o efeito de esteira não se mostra muito relevante, pois a sucção do hélice esta adquirindo o fluxo de onde o meio já se encontra homogeneizado.

1.1.3: Hydrofoils

È basicamente uma aplicação direta de uma superfície geradora de lift. O hydrofoils é construído de uma maneira para que possa operar dentro da máxima velocidade suportada e

sempre gerando o máximo de lift possível. As forças de lift sempre deveriam ser geradas em uma direção, para cima, e então uma secção foil não simétrica pode ser usada para minimizar o arrasto. O formato da secção e como é montado remete ao aerofólio usado nas asas de avião, mas com uma diferença importante. O formato de um aerofólio típico tem um largo pico de sucção e um curto caminho a vante da borda principal; isso é aceitável na aviação, mas pode causar cavitação local se o mesmo formato for usado na água. Para um hidrofólio, entretanto, o formato é substancialmente ajustado para dar uma distribuição mais uniforme na sucção acima do topo da superfície, sem nenhum pico local.

Outra possibilidade é a consequência da sucção no topo do foil é a ventilação; que é a penetração do ar da atmosfera pela superfície da água na direção da área de baixa pressão a cima do foil. Se isso acontece, o fluxo padrão será interrompido e as forças de lift se perderá. A embarcação pode ficar com os foil fora da água, o que arremessaria o casco principal imediatamente de volta na água com perda de velocidade.

O ar é particularmente suscetível de ser direcionado para dentro da superfície do mar ao longo dos bordos de fuga da superfície que une o foil até o casco. Para prevenir que isso não aconteça as vezes a superfície é montada com defensas, alhetas horizontais locais que atuam para descolar qualquer bolha de ar que tente entrar através da superfície, e as arremeca em uma corrente descendente antes que elas atinjam o foil mais importante.

O fenômeno de cavitação e ventilação as vezes são mesclados ou até mesmo trocados. Eles são fatos bem distintos em causa e efeito, a única coisa em comum é que ambos acontecem na mesma parte do navio, e ambos deterioram os materiais.

1.1.4: Fins

Outra superfície geradora de lift encontrada na maioria das embarcações é o fin estabilizador. O fin é de aplicação necessária para as forças sejam exercidas igualmente em ambas as direções, para cima ou para baixo. É feita com uma secção simétrica, então não tem uma boa relação lift/arrasto.

Como qualquer superfície geradora de lift na água, um fin estabilizador pode sofrer com cavitação e ventilação. Mas a cavitação é evitada usando uma adequada área de superfície que sirva o formato da secção. A ventilação é um problema que ocorre raramente em navios de grande deslocamento pois os fins estão bem imersos, em todo o caso de maneira intermitente até pode ocorrer o aparecimento de bolhas quando o navio entra em balanço.

CAPITULO II

Formação de Esteira (Wake)

Quando um propulsor está operando ou atuando em “águas abertas” (open waters), o seu avanço será em águas não perturbadas. Quando o propulsor atua na sua posição junto ao casco as condições de operação ficam modificadas. O propulsor passa a atuar em águas perturbadas pela passagem ou deslocamento do casco, e como é sabido, a água em torno da popa, adquire um movimento para vante (adiante e no mesmo sentido do navio), de modo a preencher o “vazio” deixado pelo deslocamento do casco.

A água que move para diante é denominada esteira, e uma das consequências deste fato é que o propulsor não avança, em relação à água com a mesma velocidade do navio V_s , mais sim com uma velocidade menor V_a , também designada como velocidade de avanço.

Sabe-se também que, o propulsor quando desenvolve um THRUST, acelera água à sua frente, o que ocasiona uma redução ou abaixamento na pressão em torno da popa, aumentando também a velocidade na região. Portanto ambos os efeitos aumentam a resistência (arrasto) do navio, para valores acima daqueles medidos ou obtidos nos modelos testados em tanques de provas, pois neste caso, casco é simplesmente arrastado através da água, não existindo esforço de propulsão.

Assim sendo, as relações entre, thrust, torque e revoluções (velocidade angular) em águas abertas, onde a admissão de água no propulsor é uniforme, não serão as mesmas quando as condições de escoamento após o casco variam como no caso de águas perturbadas.

Deste modo existirão diferenças na eficiência dos propulsores quando operam em águas abertas ou após o casco (águas perturbadas). A diferença entre a velocidade do navio V_s e a velocidade relativa do propulsor, em relação a água V_a (velocidade de avanço), e denominada velocidade de esteira (Wake Speed). Froude, propôs a expressão Fração de esteira, na qual relaciona a velocidade de esteira ($V_s - V_a$) com a velocidade de avanço V_A .

$$Wf = \frac{V - Va}{Va} Va = \frac{Vs}{A + Wf}$$

Posteriormente, Taylor introduziu uma definição diferente W , usualmente conhecida com fator de esteira (Wake fator), definida na forma.

$$W = \frac{v_s - v_a}{v_s} \quad v_a = V(1 - W)$$

Como o fator de esteira varia do longo da popa e do propulsor, isso afeta o bom funcionamento do mesmo, em função das diferentes condições de atuação para cada uma das pás do propulsor. Como a pá do propulsor apresenta movimento de rotação, e se considerarmos uma dada seção da pá, com um determinado raio, verifica-se que esta seção atravessará regiões com diferentes concentrações de esteira, ou seja, com fatores de esteira diferentes.

A figura seguinte mostra os diferentes fatores de esteira após o casco, e são destacadas as condições diferentes para as pás do propulsor nas posições (1) ponto morto inferior e (3) ponto morto superior. Portanto o coeficiente de esteira é um parâmetro que visa em última análise, corrigir os efeitos da variação e intensidade da velocidade do escoamento incidente no propulsor, causado pela esteira.

O valor do coeficiente de esteira é influenciado amplamente pela forma do casco da embarcação, e em menor escala pela configuração do sistema propulsivo e suas características físicas, por exemplo: um maior valor do diâmetro do propulsor para um mesmo comprimento do navio diminui o valor deste coeficiente. O coeficiente de esteira tem grande influência na eficiência do propulsor. Em relação à ocorrência de cavitação no propulsor, este risco é diretamente proporcional com o valor deste coeficiente, devido ao elevado grau de não homogeneidade do escoamento ao redor do propulsor.

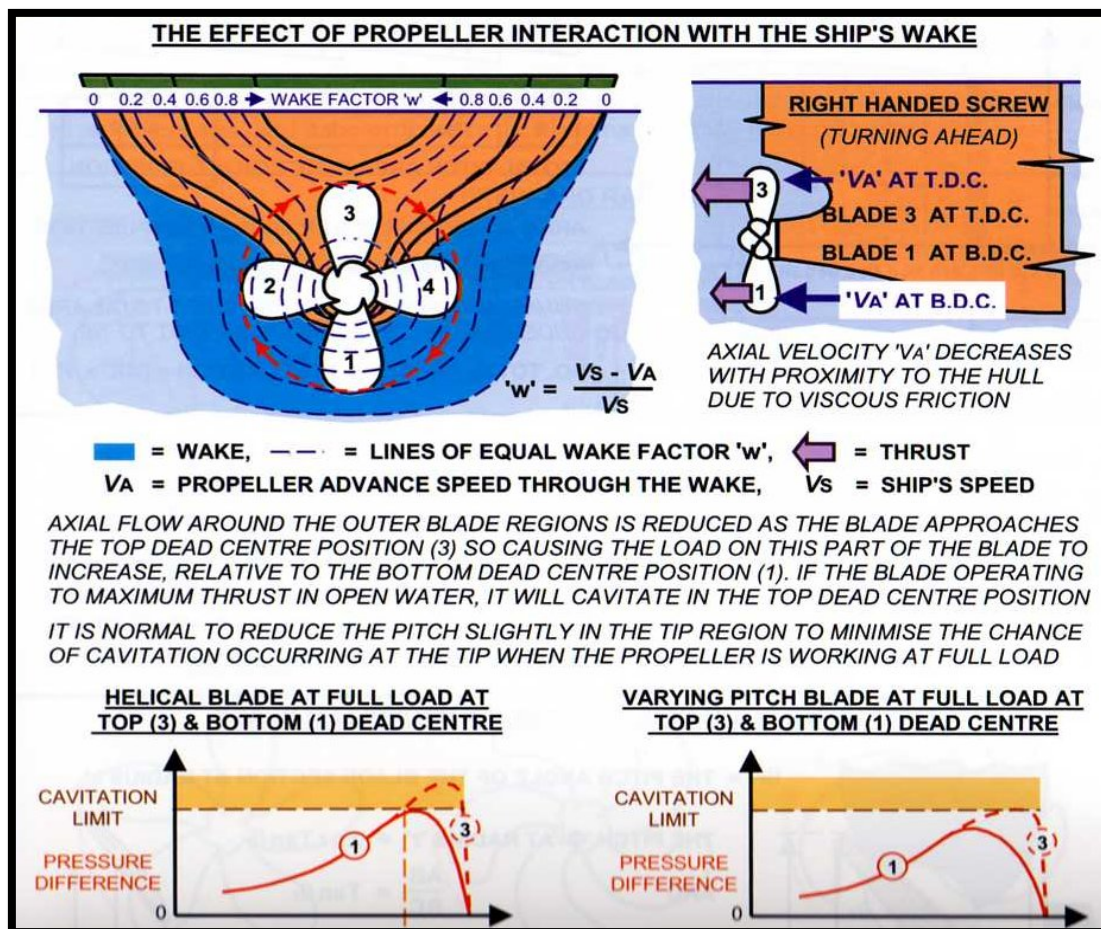


Ilustração 1: Diferença de velocidades para cada pá.

Pode-se então construir um propulsor cujo passo varia desde o bosso (HUB) até a ponta da pá (blade tip), de tal modo a garantir uma esteira circunferencial média, para um dado raio. Esse tipo de passo em que o ângulo de ataque cresce desde o bosso até a ponta da pá é conhecido como passo progressivo ou variável. Esta variação progressiva do ângulo de ataque em cada pá é uma característica construtiva imutável.

OBS.: Não confundir com Hélice de passo controlável (CPP), onde por meio de mecanismos hidráulicos, o ângulo das pás pode ser modificado ou alterado a qualquer instante, mesmo estando o navio em movimento, sem que haja a necessidade de alterar o sentido de rotação do propulsor.

A falta de uniformidade de escoamento na esteira provoca consequências indesejáveis, pois enquanto as pás giram são observados esforços mecânicos desiguais em cada uma delas e que são transmitidos ao casco pela água e rolamentos do eixo, causando vibrações mecânicas no casco que poderão entrar em ressonância.

CAPITULO III

DETALHES CONSTRUTIVOS SOBRE PROPULSORES MARÍTIMOS

Tem-se observado um contínuo aumento tanto na velocidade quanto na potência dos navios, particularmente nos navios dotados de um único propulsor. Por estas razões houve necessidade de se aumentar a área das pás, visando retardar o início da cavitação. Por outro lado deve-se evitar que as pás sejam excessivamente largas, o que é parcialmente contornado aumentando-se o número de pás no propulsor.

O aumento na potência aplicada ao eixo propulsor aumentará, por consequência, o thrust (impulso) desenvolvido em cada pá. Ao mesmo tempo são também aumentados os esforços mecânicos periódicos (forças) transmitidos do propulsor para o casco, tanto através da água como pelos rolamentos do eixo. Logo, os problemas resultantes de vibrações do casco são agravados. As forças desenvolvidas no propulsor são predominantemente originadas da frequência das pás. Deste modo um aumento do número de pás além de reduzir o thrust desenvolvido por cada uma das pás, reduz também a intensidade das forças perturbadoras, porém, aumenta suas frequências. Tais recursos são frequentemente utilizados para evitar condições de ressonância no casco, e as vibrações forçadas podem ser reduzidas, aperfeiçoando-se os sistemas de amortecimento, dispostos internamente no casco. Por esta razão muitos navios atualmente, estão providos de um propulsor com cinco, seis ou mais pás. As pás podem ser fundidas conjuntamente com o bosso (solidpropellers) ou fundidas em separado e posteriormente aparafusadas no bosso (Built-uppropellers).

Quanto as pás são aparafusadas no bosso, apresentam as vantagens de serem facilmente substituídas em caso de avarias, e pequenos ajustes no passo podem ser feitos, girando-se ligeiramente a ré em relação ao bosso. Como desvantagens se comparados aos “solid propellers” apresentam um custo inicial elevado, maior peso e em alguns casos uma eficiência um pouco menor devido ao tamanho do bosso. Outro recurso utilizado é dotar as pás do propulsor de uma ligeira inclinação para ré (rake), o que aumenta a distância das pontas das pás ao casco, reduzindo a interação das forças periódicas entre propulsor e casco, além de reduzir o risco da cavitação. Também é largamente utilizado o recurso de pás com skew (skewed blades) que é uma assimetria de contorno em relação ao eixo da pá, que permite que os bordos de ataque das pás (leading edges) entrem na água na região das

esteiras, após o casco e seus apêndices, de modo progressivo, e permitem ainda uma passagem mais suave das pás nos campos das esteiras, evitando vibrações.

No projeto das pás dos propulsores fatores importantes devem ser considerados no dimensionamento da área da pá, bem como o seu aspecto externo. Deve-se sempre levar em conta que as espessuras das seções das pás devem ser tais que apresentem uma resistência mecânica adequada.

Por outro lado a eficiência hidrodinâmica de uma seção da pá do propulsor depende da sua razão de espessura, e deste ponto de vista, é preferível manter a espessura tão reduzida quanto possível. Sob o outro aspecto, o de retardar o início de certos tipos de cavitação é preferível utilizar uma pá com maior espessura.

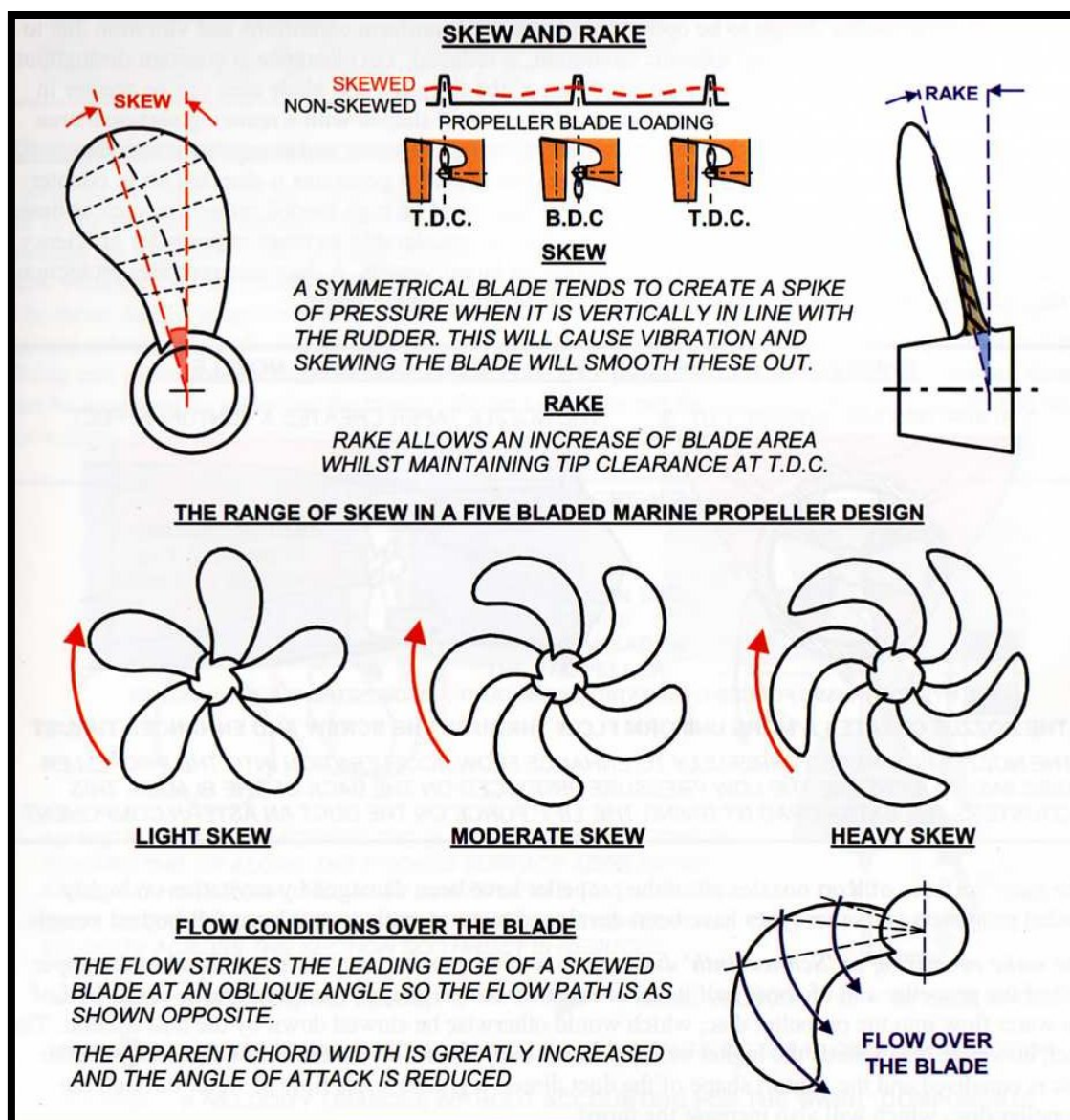


Ilustração 2: Elementos das Pás

Estes requisitos técnicos conflitantes motivaram estudos, pesquisas e ensaios que resultaram em projetos de propulsores que não são tão finos, como os propulsores mais antigos. Os materiais utilizados na fabricação de propulsores devem ser leves (pouco peso), apresentar uma superfície isenta de rugosidades (lisa) e ainda serem altamente resistentes à erosão. Os materiais mais utilizados são, o ferro fundido e o aço (liga Fe-C), bronze e manganês que é um dos metais responsáveis por conferir resistência mecânica às ligas de alumínio. O bronze manganês e suas ligas fornecem pás resistentes e duras, permitem um alto grau de polimento, sendo resistentes a erosão, o que lhes garante grande eficiência. Os propulsores de ferro fundido são relativamente finos, sendo seu desempenho um água salgada prejudicado pela facilidade com que sofrem corrosão e os efeitos combinados de cavitação e erosão, eles são mais utilizados em rebocadores portuários, quebra-gelos e barcos similares. Devido também ao fato de que, ao se quebrarem, originam vários pedaços, evitando causar danos sérios ao casco ou à maquinaria.

As tensões de trabalho admitidas para os propulsores de ferro fundido, atingem no máximo 50% das tensões admitidas para os propulsores de bronze manganês deste modo os propulsores de ferro fundido apresentam maiores espessuras e são pesados. Por outro lado os propulsores da liga níquel-alumínio-bronze são bem mais leves, mais finos e, portanto, de maior eficiência, permitindo que as superfícies das pás, adquiram uns altos graus de polimento, prevenindo o fenômeno de cavitação-erosão no campo das esteiras.

Em face dessas breves considerações, pode-se concluir sobre a complexidade de um projeto de propulsores navais, envolvendo processos CFD (computação em fluidodinâmica) e ainda exaustivos e repetidos testes com modelos reduzidos e com protótipos em tanques de prova.

CAPITULO VI

DETALHES CONTRUTIVOS SOBRE CASCO DE EMBARCAÇÕES

A partir do início da construção naval os cascos eram construídos pensando-se em repetir formas e experiências passadas de geração para geração.

Quando a humanidade passou a encarar o ato de navegar de uma maneira mais séria a construção dos cascos se tornou algo mais científico, onde se começou o estudo de estabilidade e formatos hidrodinâmicos que mais favoreciam o desenvolvimento e a controlabilidade dos navios.

Dentro desses estudos constatou-se a necessidade de um perfil afilado no casco para que este gerasse o mínimo de arrasto. Mas durante a Segunda Guerra Mundial quando a marinha americana resolveu posicionar um bulbo abaixo da linha da água, para a colocação de um receptor de sonar, essa modificação gerou uma controversa realidade; o fato de uma extensão do casco ser capaz de reduzir o arrasto de ondas. Com a descoberta por acaso do bulbo de proa, viu-se que deveria haver um estudo mais comprometido em usar recursos hidrodinâmicos para conseguir maior eficiência nas embarcações e conseqüentemente maior competitividade no mercado.

A partir da ultima década com o advento dos computadores de grande potencia as empresas começaram a usar um sistema chamado CFD (Computação em Fluidodinâmica).

Durante a pesquisa de campo tive a oportunidade de visitar a empresa **Voith** na Alemanha, a qual tem um sistema desses em funcionamento.

Durante a pesquisa de campo ocorreu a oportunidade de aprender, obter informações e ter contato direto com o sistema chamado CFD (Computação em Fluidodinâmica), produzido pela empresa **Voith**. Sobre o referido sistema, foi-me dito que, durante a sua implantação, o maior desafio, foi tentar reproduzir em computador, o que realmente acontece na prática, com o fluido, mesmo que com algum esforço, foi possível calcular os problemas que ocorrem em volta da pá em um fluido uniforme, mas não era possível com as constantes mudanças de condições do **Propulsor Voith Schneider (VSP)**. Outro problema ainda mais complicado foi que as pás interagem umas com as outras de maneira muito complexa.

Para conseguir fazer os cálculos era necessário introduzir algumas simplificações, mas estas tornavam os resultados questionáveis. Depois de muitos anos de pesquisa e varias tentativas frustradas de introduzir métodos complexos de cálculos.

Em 1996, com uma moderna tecnologia de computadores e teoria em hidrodinâmica, que métodos de cálculos promissores foram desenvolvidos e aumentaram a validade da informação obtida. Entretanto, este avançado método é repetidamente confrontado com as medidas em modelos de navios em escala reduzida para garantir a qualidade.

Em métodos desenvolvidos mais recentemente, o fluxo em torno da pás do Propulsor Voith Schneider é calculada numericamente por uma solução usando o Numero de Reynolds-average equação Navier-Stokes, todos os componentes de pressão e velocidade para o volume inteiro em que o volume assume é determinado em função do tempo. A distribuição de pressão nas superfícies limites com o rendimento dos componentes do propulsor e suas variáveis imputáveis para o cálculo relacionado as estruturas mecânicas para o thrust e torque, consequentemente também para a eficiência. Globalmente a média dos valores e os valores que atuam em volumes pequenos ou por um pequeno período, ambos estão disponíveis.

As cargas hidrodinâmicas das variáveis de saída para cálculos detalhados de esforços e estresses nas estruturas e nos componentes. A divisão de tecnologia marítima da Voith tem um sistema que representa geometricamente em formato e dimensões (3D-CAD, three-dimensional Computer-Aided Design); isto representa uma ferramenta adicional para determinar pontos de estresse das estruturas. Um outro sistema é o programa FEM, que supre não somente os valores mas também representações gráficas de componentes de estresse.

Além dos cálculos para o VSP, Voith também executa muitos cálculos relacionados ao próprio navio. São feitos cálculos especiais nos cascos do navio para adequar a propulsão a este, mas a construção e o design ainda continua sendo obrigações do estaleiro e do projetista. Mas a empresa quando percebe que há uma área próxima ao casco, onde haverá um descolamento da camada limite, por exemplo, esta avisa e sugere uma alteração para sanar o problema.

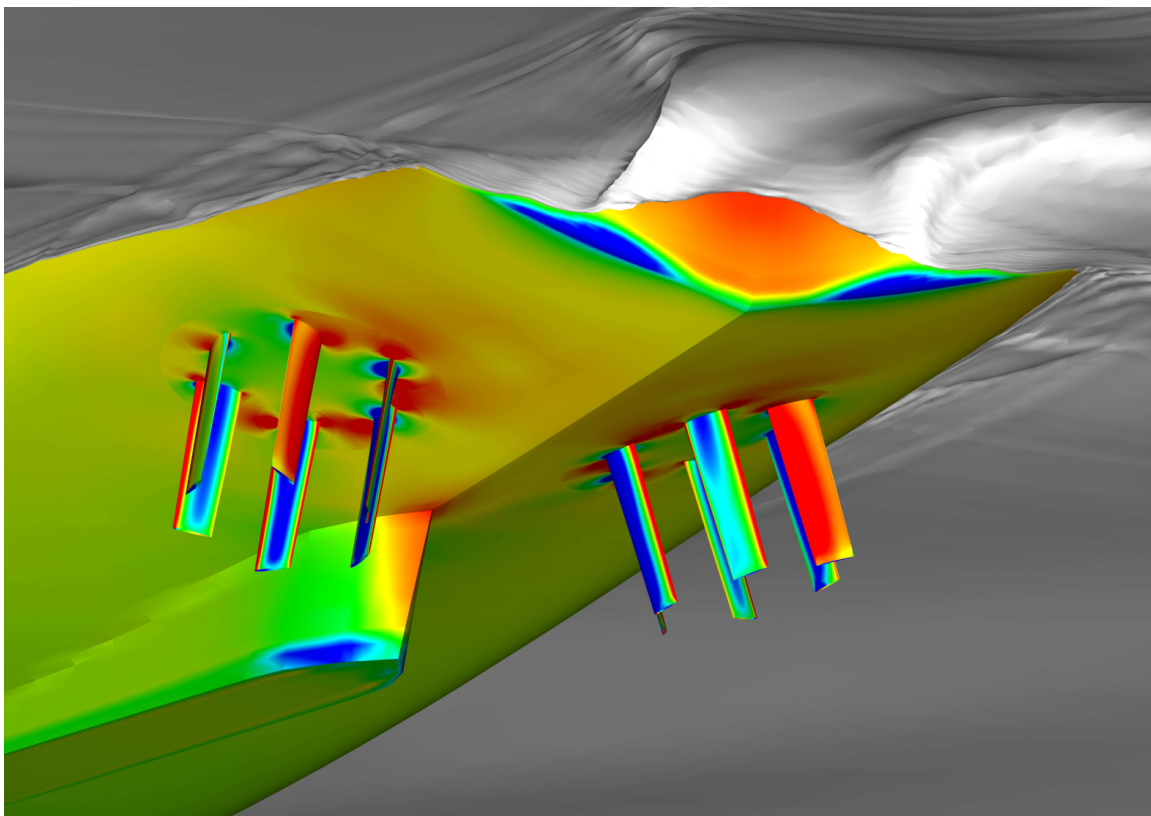


Ilustração 3: Distribuição de pressões.

Na situação acima durante o projeto deste navio o CFD apontou áreas de baixa pressão o que indica a criação de vórtice e conseqüentemente o descolamento da camada limite. A Voith sugeriu ao estaleiro que a borda das chapas não fossem arredondadas, pois esse arredondamento estava gerando o problema. A sugestão foi aceita e o problema foi corrigido.

Então vemos que hoje a construção dos casco ainda não esta sendo levada plenamente a sério pois poucas empresas no mundo se preocupam com tais efeitos hidrodinâmicos e fazem testes para assegurar um bom desempenho hidrodinâmico.

CAPÍTULO V

VIBRAÇÕES EM NAVIOS

As vibrações em navios mercantes são situações que ocorrem normalmente em qualquer tipo de maquinário que funcione utilizando forças físicas e deslocamentos em ciclos que geram torque ou algum tipo de momento. Neste âmbito se incluem de maneira mais importante os motores sejam eles quais forem. O conceito de vibração está ligado a dois aspectos o primeiro a vibração natural de qualquer material e o segundo é a excitação gerada pelo meio que provoca a vibração.

A existência de um ponto de vibração em qualquer material, torna importante o estudo dos momentos de ressonância, e os pontos mais estudados são o hélice, o eixo, a caixa redutora e o próprio MCP. Durante as provas de mar o navio é posto em teste e descobre-se os valores desses momentos em cada um dos equipamentos e o momento em conjunto. A maneira encontrada pelos manuais e chefes de máquinas é acelerar rápido as máquinas próximo do ponto, de maneira que a ressonância não tenha tempo de ocorrer. O propulsor, até pelo fato de se encontrar em movimento permanente quando o navio se desloca com um dado seguimento é um dos órgãos mais suscetíveis de criarem vibrações.

O propulsor pelo fato de se encontrar a girar num escoamento irregular na esteira do navio, geralmente transforma grande parte da energia fornecida pelo motor propulsor em vibração e ruído. Por vezes os navios de grande porte e equipados com máquinas potentes, poderão até sofrer danos nas zonas da popa, causados pela vibração induzida pelo propulsor.

Os motores Diesel marítimos, especialmente os de dois tempos podem ser também uma fonte de excitação periódica com efeitos vibratórios excessivos para a estrutura primária do navio. Estas forças de excitação podem ser devidas à explosão dos gases nos cilindros e às forças inerciais dos órgãos rotativos do motor, provocando:

- forças e momentos de desequilíbrios internos provocados por desalinhamentos ou folgas excessivas dos órgãos rotacionais;

- forças e momentos de desequilíbrio livres provocados pela ação dos gases nos cilindros dos motores.

As forças e momentos de desequilíbrio livres são as principais fontes de excitação periódica proveniente dos motores Diesel geradores. Através de uma seleção criteriosa dos parâmetros de rigidez e amortecimento destes dispositivos conseguem-se normalmente alcançar excelentes resultados.

Entretanto o ponto de ressonância é alterado devido ao efeito de esteira, mas como não

é dada atenção devida antes da construção não é surpresa para os maquinistas a bordo, quando há uma vibração que começa pela pá, gerada por uma diferença de thrust gerado entre a posição 1 e a posição 3, e se desloca pelo eixo e cresce na caixa redutora e quando atinge o ponto de ressonância do MCP o navio pode entrar todo em ressonância. Apesar de parecer algo muito arcaico é uma realidade a bordo das embarcações até hoje, comprovado por chefes de máquinas e demais tripulantes.

CAPITULO VI

DIRPOSITIVOS EQUALIZADORES DE ESTEIRA

Apesar dos novos desenhos e projetos de popa, de casco e as modificações estruturais introduzidas nas pás dos hélices, os problemas relacionados coma hidrodinâmica nas esteiras das embarcações continuam a existir, sendo mais percebidos nos navios que apresentam grandes coeficientes de bloco. Como é sabido, os campos das esteiras, onde os propulsores operam, caracterizam-se por serem campos não uniformes de velocidades e pressões capazes de provocar solicitações mecânicas intermitentes nas pás que induzem vibrações mecânicas indesejáveis, que podem produzir ressonância no casco, como também resultar em cavitação intermitente nas pás

Tendo em vista os atuais recursos computacionais de simulação oferecidos pela CFD ,como também a utilização das técnicas de modelos reduzidos e de protótipos testados nos modernos tanques de provas, várias empresas estão desenvolvendo e produzindo os denominados Dispositivos Equalizadores de Esteira. O emprego destes dispositivos leva a melhores eficiências de propulsão, e por consequência menores consumos de combustível, acarretando redução na emissão de poluentes atmosféricos, principalmente os óxidos de enxofre SO_x e os óxidos de nitrogênio N_xO_y , advindo daí um ganho ambiental importante, conforme o disposto no Anexo VI da MARPOL. **Cumprе acrescentar que a utilização de qualquer dispositivo equalizador de esteira, não significa correção de nenhum defeito estrutural ou de construção no propulsor e sim um aperfeiçoamento ou um ganho na hidrodinâmica no campo das esteiras.**

6.0 Duto ou “Kort” Nozzle

A variação do fluido ao redor da popa, ambos em tempo e espaço torna muito difícil fazer um design de uma pá de propulsor que tenha uma boa performase através do ciclo rotacional. Se o pitch é muito grosseiro na região exterior da pá então é bem provável que a carga seja maior e que cavite quando passa perto do casco, enquanto uma muito boa afinação pode direcionar o fluxo na parte de trás da pa enquanto a face se move mais rápido na parte onde não se tem casco. Este local “backloading” toma a energia da movimentação do navio ao enquanto o outro lado só diminui o thrust do propulsor.

As condições de fluxo durante uma revolução completa pode ser executada mais consistentemente por um enclausuramento do propulsor em um duto ou “Kortnozzle”, o qual tem formato de hidrofólio é instalado de forma anular que direciona o fluxo dentro do

propulsor. Isso permite que o design seja otimizado para uma condição maior uniformidade e assim reduzindo vibrações devido a um propulsor com forças instáveis que causam esporádicas cavitações. A folga na ponta em relação ao duto é constante durante o ciclo, mas é minimizada para evitar perdas embora o pitch e na área da pá podem ser melhores na área da ponta do que em um propulsor sem o duto. O “nozzle” tem uma redução seccional no formato a frente do propulsor para capturar o máximo possível de taxa de água fluindo e acelerando para dentro do disco do propulsor. O a secção do duto é um aerofólio moldado para que o lift gerado seja diretamente contrario ao arrasto adicional criado. Propulsores com duto tem sido usados apenas em navios com grande carga no propulsor como tugs e traineiras desde 1930. Esse duto pode produzir um considerável aumento na eficiência do propulsores, se for adequadamente projetado e estão sendo usados para incrementar navios maiores. Um como esse também proporciona proteção para o propulsor, mas um nozzle pode reduzir muito a performance com maquinas a ré.

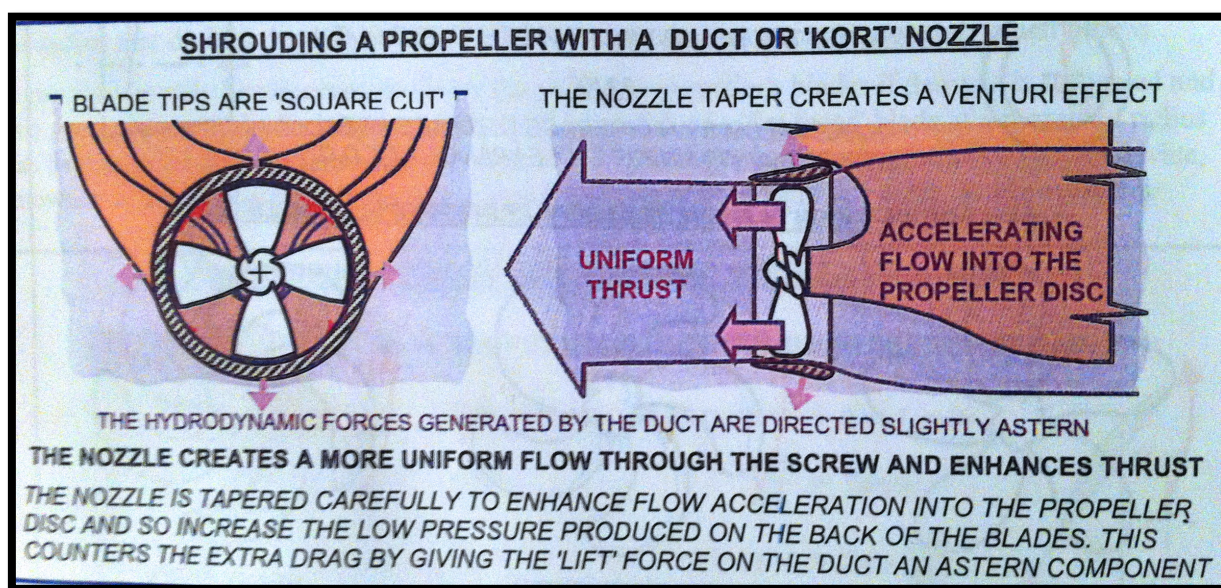


Ilustração 4: Desenho demonstrativo.

6.1 Skeg

A parte da popa da embarcação geralmente é caracterizada por uma parte no fundo que é estreita e em formato de “V”, a qual é conhecida como “skeg” ou “deadwood” no qual por dentro passa o eixo do propulsor. Mas esta posição é muito importante para direcionar o fluxo até o propulsor e para aumentar a resistência lateral da popa. O Skeg vai influenciar no comportamento do navio pois moverá o centro de força hidrodinâmica do casco para mais avante e então irá aumentar a estabilidade direcional, no entanto, em navios de casco muito

largo como, graneleiros e navios tanques, a área disposta para o skeg na popa pode acabar ficando limitada devido aos tipos de projetos dos navios.

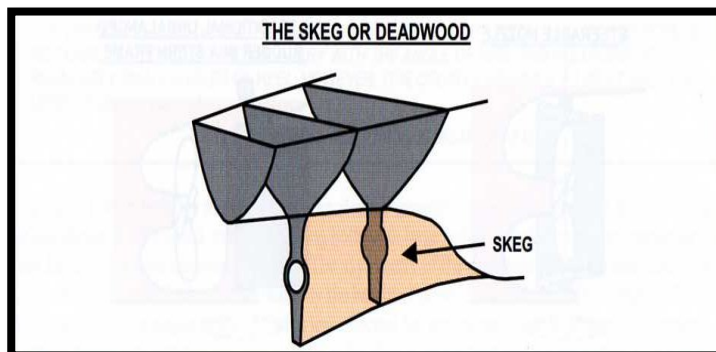


Ilustração 5: Skeg

6.2 Duto “Schneekluth”

Este tipo de equalizador de esteira, consiste de um anel anular, montado antes e a partir da metade do propulsor e em torno da metade de seu diâmetro. É moldado para acelerar a metade de cima do fluxo de água na direção do disco do propulsor, o qual teria sua velocidade reduzida pela fricção com o casco. Ao mesmo tempo o duto, também retarda a alta velocidade na metade inferior do fluxo que vai na direção do propulsor. Desta maneira o fluxo direcionado para área do propulsor fica equalizado, garantindo deste modo uma massa de água mais homogênea na passagem pelas pás, o que diretamente aumenta o thrust.

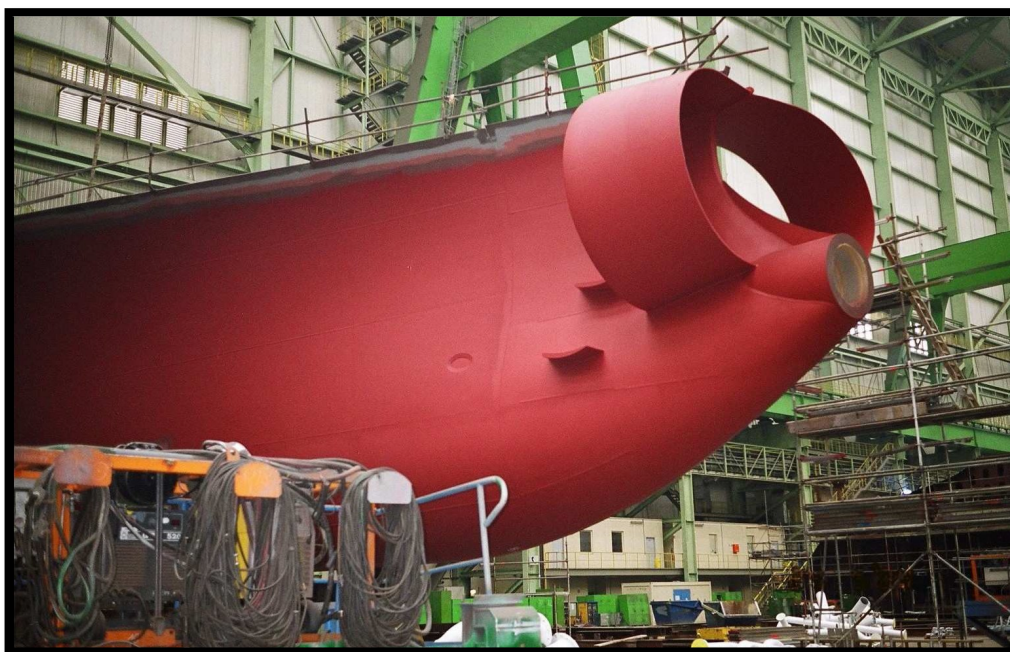


Ilustração 6: Schneekluth aplicado a um navio de 207,40 metros

Durante vários anos o Schneekluth foi usado em uma serie de 25 navios, o que possibilitou um grande estudo de casos, de medições e evolução do sistema para futuras melhorias e aperfeiçoamentos. Este perfil hidro dinâmico é patenteado pela “MessrsSchneekluthHydrodynamik”. Uma das principais características desse duto é o angulo de inclinação em relação ao plano da linha de centro. Depois de um certo tempo descobriu-se que a eficiência do duto seria aumentada se fossem incluídos no projeto duas alhetas em cada bordo, uma acima da linha de centro e mais próximo do duto e outra mais afastada e abaixo da linha de centro.

A utilização desse sistema gerou um aumento na velocidade do navio em 0.3 nós. A partir de varias medições em diferentes potencias e diferentes velocidades, criou o gráfico a baixo onde se encontra uma comparação de 36 navios com o duto e 18 navios sem o duto.

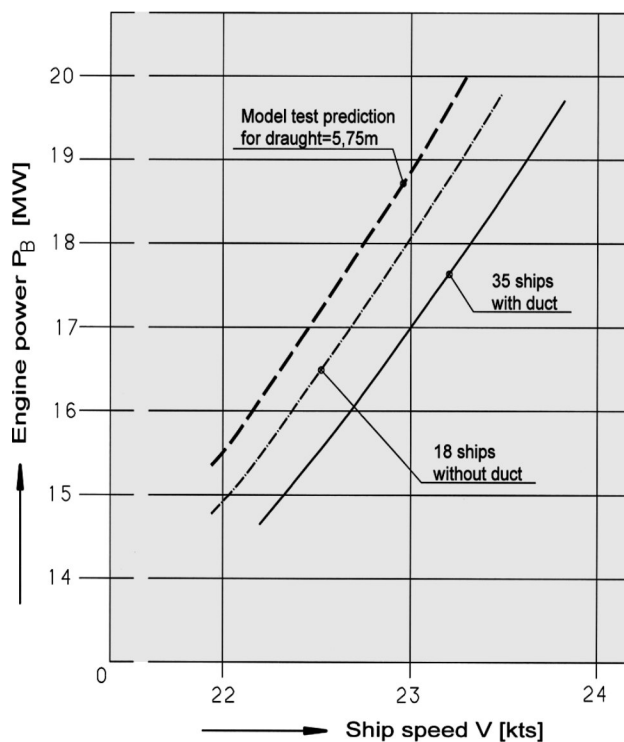


Ilustração 7: Tabela de comparação.

Esse aumento representa um ganho de potencia médio de 950 kW ou 5%. O que representa uma economia de 4t de combustível por dia.

Concluiu-se a partir de dos dados observado que o ganho na eficiência do propulsor é devido aos fatores:

- O direcionamento do fluxo de para a metade de cima do propulsor que são áreas de onde ha maior possibilidade de haver um descolamento da camada limite. Devido ao fluido ter sido conturbado pelo casco do navio.
- É bem conhecido que os dispositivos de equalizadores de esteira sao colocados, para acelerar o fluxo de agua através do seu formato especial. Eles direcionam o fluxo para a área de máxima não uniformidade de fluido.
- Para adquirir o resultado de uma corrente de esteira mais homogênea em geral. Consequentemente, o angulo de perfil das pás do propulsores encaixam mais efetivamente na admissão de fluxo através de uma maior parte da circunferência de atuação e assim o propulsor é incrementado.
- O descolamento da camada limite na área do duto Schneekluth atua da mesma maneira como a redução na perda do thrust e assim como uma maior eficiência do da propulsão.
- Finalmente, os dispositivos equalizadores de esteira também providenciam um componente de propulsão através da configuração do seu perfil e do resultado do fluxo circular em torno do duto.

O aumento da velocidade do fluxo de admissão resultante da instalação do duto ajuda a hélice a girar mais facilmente por 1,5 – 2 rpm, em comparação com uma embarcação sem o duto. Uma melhoria dessa magnitude, não requer uma adaptação do propulsor quando esta realimentando uma embarcação com duto, nem nenhuma mudança do projeto do propulsor para um novo navio com o duto. O aumento do alcance é a grande vantagem para as condições de operação de motores diesel em acordo com os limites de tolerância do design do propulsor.

6.3 Redução de vibração no nível da superestrutura

Em navios com o dispositivo acima instalado, onde o armazenamento de carga fica a frente da superestrutura, as condições para satisfazer os requerimentos de baixas vibrações nas acomodações e nos locais de trabalho para oficiais e demais tripulantes são extremamente desfavoráveis. A maiores fontes de vibrações são o motor principal e o propulsor, que estão imediatamente bem próximos destes locais, e a estrutura de aço ajuda criar um caminho material que é curto e eficiente. A excitação do propulsor é um fator que deve ser considerado mais detalhadamente com o intuito de buscar a efetividade do duto Schneekluth.

Uma parte das forças é transmitida durante o funcionamento do propulsor na área de esteira através do eixo e barreiras até o casco, devido a os pulsos de pressões do propulsor. Como consequência da carga contínua, na direção e velocidade da admissão de fluxo pela pá do propulsor, durante a rotação na área de esteira. A magnitude dos impulsos de pressão em uma parte pequena que depende da extensão da força contínua aplicada na pá é mais importante na geração e colapso das bolhas o que originam cavitação crescente nas pontas das pás, essa camada de cavitação que esta sendo medida por uma desfavorável admissão de fluxo com uma magnitude próxima a dos impulsos de pressão.

Como o descrito acima, o propulsor encontra as piores condições em sua revolução na áreas da 12 horas. É o ponto em que a velocidade de admissão de fluido é menor possível decorrente dos maiores impulsos de pressão. Esses pulsos são transmitidos através da água para o casco galvanizado e assim como constituem uma excitação permanente a qual é caracterizada por uma frequência típica vinda da velocidade do propulsor X numero de pás X ordem.

A instalação do dispositivo equalizador de esteira Schneekluth não pode processar os pulsos de pressão ineficaz; as características da área de esteira e as consequências dos resultados continuam imutáveis. Entretanto, a homogeneização que do fluxo de agua que vai de encontro com o propulsor gera uma menor ocorrência de cavitação na ponta das pás assim como uma redução nos impulsos de pressão.

O efeito da influencia pode ser observado através dos níveis medidos de impulsos de pressão medidos em um navio primeiro sem o Schneekluth e depois com o dispositivo instalado. O diagrama da figura abaixo mostra a diferença nos impulsos de pressão sem e com o duto Sschneekluth. Os valores mostrados foram medidos em uma magnitude individual. O efeito do duto mostra seus benefícios em grandes diferenças; isto acontece através destas excitações que contribuem para mitigar os problemas. Este efeito é mais valioso quando confrontamos sua eficácia em relação as grandes dificuldades encontradas ao tentar transformar as estruturas de metal em estruturas livres de ressonâncias.

Descobriu-se com esse estudo que as pás se comportaram da seguinte forma; a primeira pá (1 x z) não tem uma diferença de frequência aparente sem e com o duto, mas na segunda para (2 x z) a redução já atinge 30% e 50% quando falamos das pás (3 x z) e (4 x z).

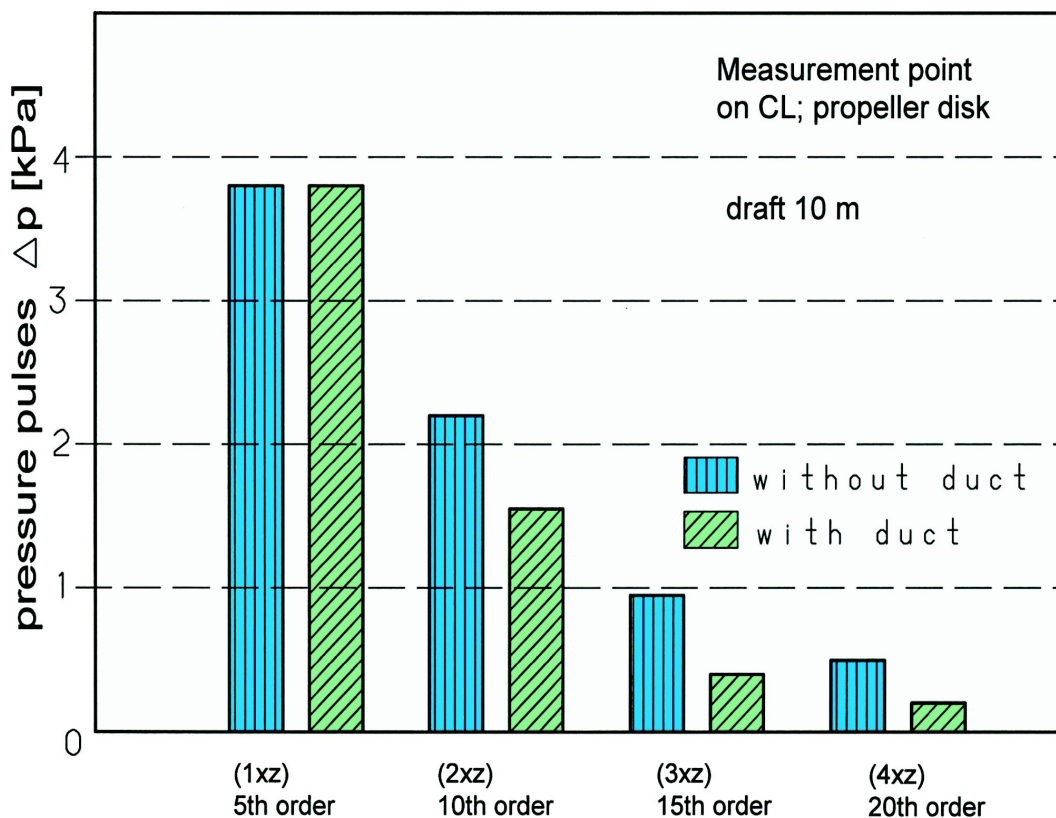


Ilustração 8: Comparação de pressão.

O resultado imediato; é possível evitar modificações caras e muito complexas nas partes estruturas de aço com o objetivo de atingir correções de frequências de ressonância se as vibrações forem acima do normal. Então adaptar o navio com este duto, traz mais eficiência do que se as tentativas de modificar partes estruturais do navio com sua superestrutura pronta. Mas é claro não se pode criar uma expectativa muito alta, pois os méritos para atingir tal performance depende da individualidade e da configuração de cada embarcação no campo de sua esteira. O que deve ficar bem claro é que este duto não é uma correção de defeitos mas sim uma otimização hidrodinâmica.

6.4 Duto “Mewis”

NO ano de 2009 na Alemanha a empresa “Becker Marine Sytems” lançou um Projeto baseado completamente em princípios hidrodinâmicos, este novo tipo de duto combina diferentes teorias da dinâmica de fluidos.

Esta empresa atentou para o fato de que o efeito do campo de esteira em navios com boca muito larga, como tankers, reduz a eficiência da propulsão. A velocidade do fluxo da

água constitui uma característica desfavorável na uniformidade do fluxo. Assim como vimos nas explicações acima.

O duto “Mewis” é um incremento na propulsão destes tipos de navio que contribui largamente para a redução na emissão de poluentes e economiza combustíveis de carbono na navegação. Navios são impulsionados por máquinas de combustão que tem um dimensionamento de sua potência baseado na resistência do casco na eficiência do propulsor e na velocidade máxima desejada. Este sistema reduz a necessidade de potência quando se aumenta o fluxo de água que vai de encontro ao propulsor, para atingir uma maior eficiência na propulsão de maneira geral. Este incremento consiste de dois fortes elementos montados na embarcação: um duto posicionado à frente do propulsor integrado com um sistema de “fin” ou alhetas. A força com que o duto acelera a esteira deixada pelo casco para dentro do propulsor também produz uma rede de thrust na frente do propulsor. Cada fin individualmente tem sua própria geração de um pré-redemoinho que rotaciona na direção contrária da operação do propulsor, recuperando a energia rotacional da corrente do propulsor.

A economia atingida pelo duto “Mewis” depende da carga de thrust do propulsor, vai de três por cento em uma pequena embarcação de contêineres até dez por cento em um grande navio tanque ou graneleiro.

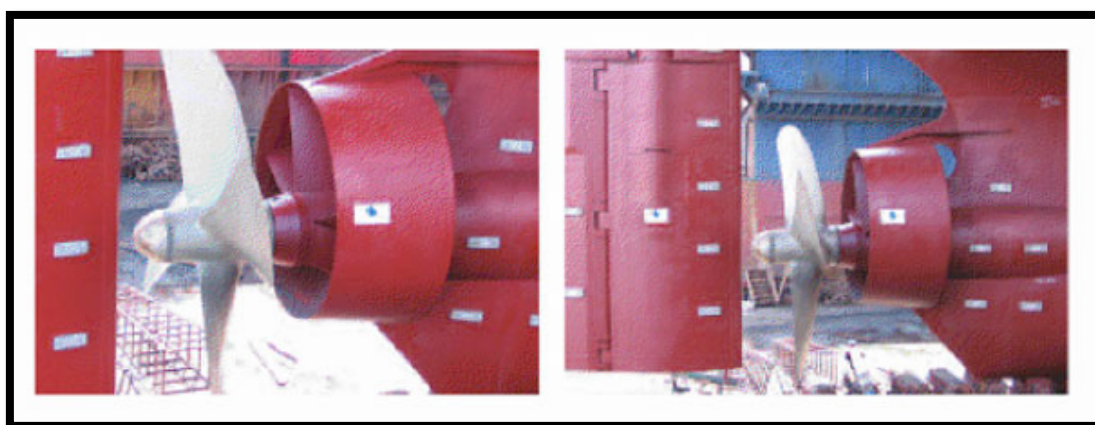


Ilustração 9: Exemplo do duto depois de instalado.

Otimização

As técnicas de CFD são utilizadas no processo de otimização cujo os resultados são testados por modelos de teste apropriados. Como vemos na análise de CFD seguinte.

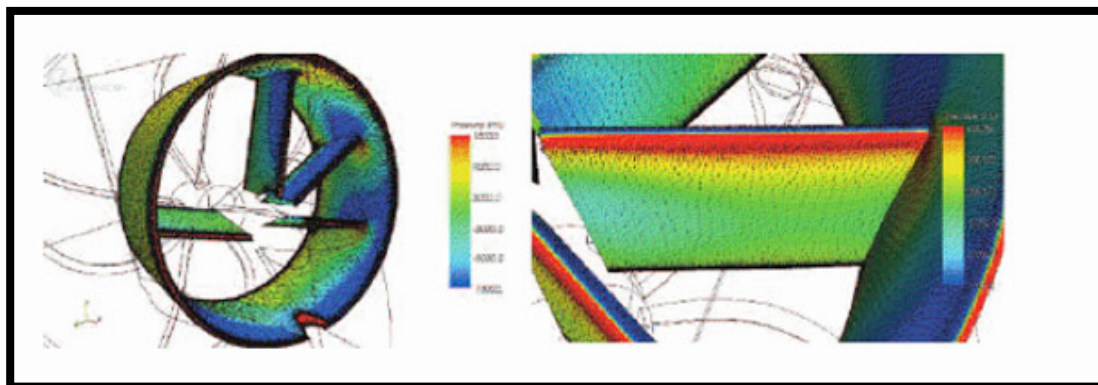


Ilustração 10: Modelo de teste em computador.



Ilustração 11: Modelo de teste em escala.

De acordo com a empresa Becker as previsões dos cálculos do CFD sobre a economia, efetuadas no Instituto de Pesquisa, de potencia estão de acordo com as mediadas de teste.

O julgamento das medidas de potencia de eixo e teste de velocidade na embarcação do Grieg foram feitas por uma companhia independente. Os dados encontrados puramente não podem ser comparados diretamente com os modelos de teste. As condições ambientais do navio devem ser corretas e dentro do padrão, isso foi feito em uma base de testes chamada: Hamburg Ship Model Basin (HSVA).

As medidas de teste foram feitas com condições leves de carga. O modelo de teste com o duto Mewis atingiu uma velocidade de 16.45 knots, ou seja houve uma economia de aproximadamente 4.5% potencia de propulsão. Isso corresponde a um aumento na velocidade do navio de 17 knot se uma redução de potencia de aproximadamente 6% foi encontrada nas medições.

Isto corresponde a uma velocidade de 17 knots uma estimada economia de bunker na faixa de US\$23,000 por ano, considerando o valor de US\$460 por toneladas durante 220 dias de operação por ano. Há também a redução dos gases e que contribuem para o efeito estufa.

6.5 Duto Mitsui

Esse duto equalizador de esteira é muito eficiente também sendo um duto completamente circular a vante do propulsor, mas é ao mesmo tempo assimétrico para capturar a aceleração dos fluidos nas áreas do disco do propulsor próximas ao casco. As bordas do duto são alinhadas com as pontas das pás para que não passe para a vante do propulsor onde ficaria vulnerável a danos causados pelas bolhas de cavitação das pontas das pás que implodiriam no duto.

6.6 Alhetas (Spoiler)

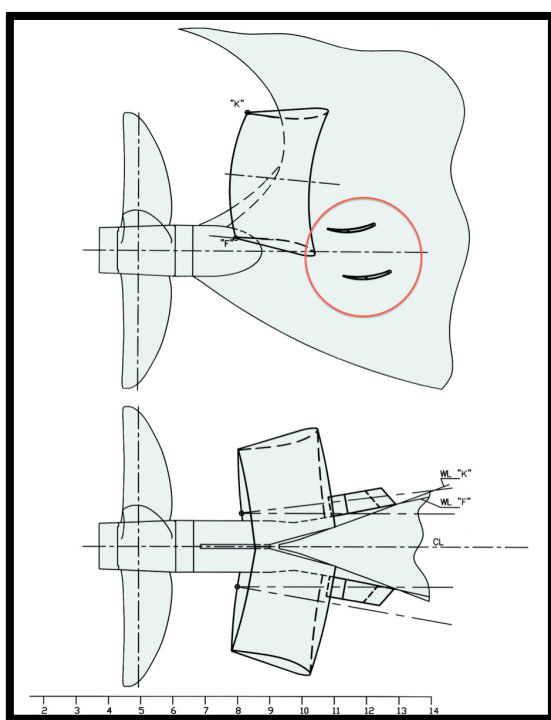


Ilustração 13: Projeto.

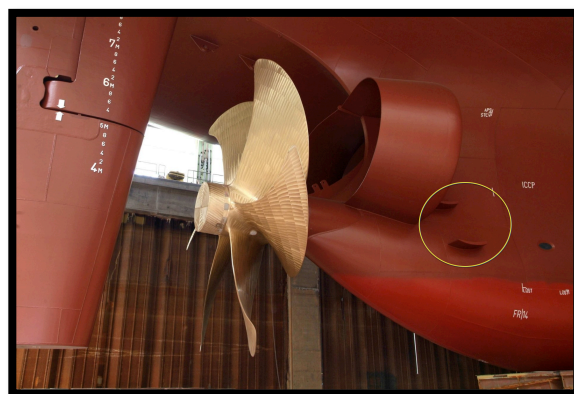


Ilustração 12: Foto do Spoiler

Não é um duto e sim uma sequência de hidrofólios que são projetados para baixo e para fora da carena lateral mais próxima, avante e acima da linha de centro do propulsor. O

maior o maior efeito é criar um fluxo uniforme e axial maior dentro do disco do propulsor acelerando o fluxo lento.

Esses dispositivos funcionam aliviando e reorganizando o fluido, trabalhando com uma asa de avião. Desta maneira ele consegue usar as baixas e altas pressões para direcionar o fluxo para que este chegue mais organizado no duto que por sua vez direciona para o propulsor. Evitando o descolamento da camada limite, diminuindo o coeficiente de esteira, consequentemente evitando vibrações e cavitação, como pode ser visualizado nas figuras abaixo.

6.7 Cilindro Rotativo



Ilustração 14: Aplicação

Este equipamento é composto de um cilindro vertical, fixado no início do skeg, que rotacional de maneira constante. O objetivo desse sistema é acelerar o fluxo de água que se encontra avante do skeg para que quando esta massa encontrar a lateral do próximo ao propulsor já em alta velocidade para que o efeito da esteira e o arrasto seja minimizado. A maior utilização desse sistema é maior em uma embarcação específica chamada “Voith WaterTractor” explicarei mais o porque da utilização nessas embarcações e suas particularidades. O componente transversal de thrust que o propulsor Voith Schneider necessita para assegurar que o equilíbrio deve ser o menor possível. O design do navio deve fornecer ao “Voith waterTractor” uma estabilidade suficiente e obras mortas para que ele consiga atingir seguramente o máximo de forças nos cabos. Os resultados dessa otimização estão retratados por um diagrama “borboleta” no diagrama abaixo.

A figura acima mostra por exemplo as forças de manobra que são atingidas em todo o alcance de velocidade do navio. Um sério acidente envolvendo no navio “AegenSea” na entrada do porto La Coruna foi uma razão do VothWaterTractor ser usado para funções de escolta na Espanha. Para que a embarcação atinja altas forças de manobra mesmo com as pequenas dimensões de um tug de porto, a empresa Voith desenvolveu o Voith Turbo Fin. Para este propósito, um motor de leme foi adaptado neste navio. A vante deste skeg existe um cilindro que rotacional que pode ser ativado pelo piloto quando opera no modo indireto. Ele funciona alterando a camada da borda acelerando a velocidade do fluido, adiando assim o descolamento da camada limite e as forças de manobra no navio inteiro são aumentadas em até 18%, permitindo que este se posicione em melhores ângulos de ataque . O diâmetro do cilindro que roda é em torno de 50% da máxima largura do perfil do skeg. Para atingir os melhores resultados no Voth Turbo Fin a velocidade de rotação deve ser 4 vezes a velocidade que o navio esta desenvolvendo.

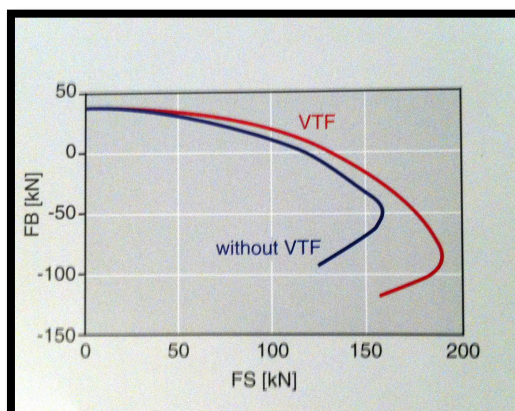


Ilustração 15: Gráfico de desempenho

O piloto ativa o Turbo Fin em um apertar de botão nos controle do passadiço. Quando este guinar o volante para gerar focas de manobra para qualquer um dos bordos, o cilindro começa a girar na direção da guinada. Com esse advento hidrodinâmico os Voth WaterTractor conseguem atingir um bollard pull de 100t. Isto aumenta consideravelmente as características deste navio.

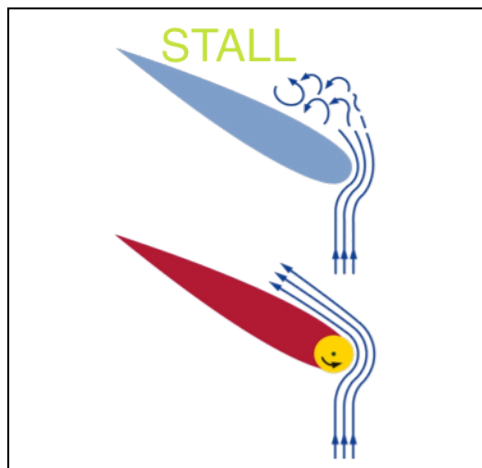


Ilustração 16: Representação do Turbo Fin

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi explicado o que é o efeito de esteira, por que ele ocorre, em que ele influencia durante a navegação e exemplos reais de problemas que ocorrem. A esteira influencia de maneira intensa dependendo do navio, e por ser um efeito inerente ao próprio tamanho e deslocamento do casco.

O durante décadas tentou se descobrir o origem das vibrações e qual era o efeito que geravam nas embarcações e aumenta do arrasto. Então o primeiro passo foi procurar aumentar a eficiência no hélice, e encontrara-se os materiais mais eficientes. O que foi importantíssimo para o desenvolvimento da tecnologia na área.

Não se consegue anular o efeito de esteira, o que é mais importante hoje, é o estudo para verificar a efetividade hidrodinâmica do casco. Mas isso não é o suficiente, pois o arrasto continua a existir conduzindo um fluxo de água pouco homogêneo para o hélice. Mais recentemente, alguns centros de pesquisa do mundo começaram a estudar o uso de hidrofólios para equalizar a esteira.

Este direcionamento atual para pesquisas nessa área é o essencial para que a navegação seja o mais eficiente possível. Este rumo deve ser seguido, pois pelo exposto nesse trabalho, muitas empresas de pesquisa estão carentes de tecnologias referentes ao estudo da efetividade hidrodinâmica das embarcações construída em seus estaleiros. As pesquisas nessa área devem ser levadas mais a sério por todos os envolvidos nas fases de construção da embarcação.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - APOSTILA: ASPECTOS PRÁTICOS DAS VIBRAÇÃO EM NAVIOS, Engenharia Naval, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 2 – LE CHEVALIER, Captain Yves; RADIKE Olaf: Voith Water Tractor Maneuver Manual. Heidenheim, Germany.
- 3 - JURGENS, Dr.Dirk: Interview dated 8.07.2013. Heidenheim, Germany
- 4 - PALM, Michael: Interview dated 9.07.2013. Heidenheim, Germany
- 5 – PAFFETT, J. A. H. Ships and water. A short book about physical interpretations which occur between a ship and her liquid environment. London: The Nautical institute. 1990. 95p. ISBN 1870077067
- 6 – CLARK, I. C. Ship dynamics for mariners: a guide to the theory of hull resistance, power requirements, propulsion, steering, control systems and ship motion in a seaway. London: The Nautical Institute, 2005 300p. ISBN 1870077687
- 7 - JURGENS, Birgit; Werner Fork. The Fascination of the Voith-Schneider Propeller History and Engineering. KOEHLER, Hamburg, p.10-47, 2002.
- 8 – EABW, Vol.80, Bu 713, letter from Schneider to the Voith company/agents in Vienna dated 3.2.1924
- 9 - EABW, Vol.80, Bu 713, Schneider, copy of 15.11.1924
- 10 – cf EABW, Vol.80, Bu 713, letter from Schneider to the Voith company/agents in Vienna dated 3.2.1924
- 11 - EABW, Vol.80, Bu 714, Schneider, memoir dated May 1931, p.5
- 12 - EABW, Vol.80, Bu 714, report by Kober dated 15.4.1925
- 13 – JURGENS, Dr.Dirk: Voith Schneider Propeller – Current Applications and New Developments,Germany.

14 – JURGENS, Dr.Dirk; PALM, Michael; AMELANG, Andreas; Moltrecht, Torsten: Design of Reliable Steerable Thrusters by Enhanced Numerical Methods and Full Scale Optimization of Thruster – Hull Interaction Using CFD. ;Voith Turbo Marine, Heidenheim, Germany. October 7 – 8, 2008

15 - JURGENS, Dr.Dirk; PALM, Michael; BENDL, David: Numerical and Experimental Study on Ventilation for Azimuth Thrusters and Cycloidal Propellers. Second International Symposium on Marine Propulsors smp'11,Hamburg,Germany, June 2011.