

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA

DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS-PREPOM

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS

MÁQUINAS 2011/2012



MONOGRAFIA

**LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS EM MOTORES 2 TEMPOS
DE CURSO SUPER LONGO**

(CYLINDER LUBRICATION IN SUPER LONG STROKE ENGINES)

Autor: Dalto Antonio Rosi Junior

Rio de Janeiro, Maio de 2012

RJ-Brasil

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS-PREPOM
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS
2011/2012

MONOGRAFIA

LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS EM MOTORES 2 TEMPOS DE
CURSO LONGO

(CYLINDER LUBRICATION IN SUPER LONG STROKE ENGINES)

MONOGRAFIA

Curso: APMA-2011/2012

TÍTULO:

LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS EM MOTORES 2 TEMPOS DE CURSO
SUPER LONGO.

SUBTÍTULO:

A NECESSIDADE DE LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS E SEUS EFEITOS
RESULTANTES

Monografia submetida ao curso APMA como parte dos requisitos de finalização
do curso e emissão de certificação para ascensão de categoria.

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA

DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS-PREPOM

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS
2011/2012**

PROFESSOR ORIENTADOR: Professor . Eng. **Hermann Regazzi Gerk**

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

Dedicatória:

Dedico este trabalho a todos os colegas que passaram por mais esta etapa, superando os diversos obstáculos e enfrentando os desafios da tarefa que é tornar-se um Chefe de Máquinas com competência e reconhecimento.

Agradecimentos:

Agradeço a Deus, sempre e ao prezado professor Hermann que com muita paciência colaborou para este trabalho.

São conhecidos três tipos de Homens:

Os vivos, os mortos e os que vão para o Mar.

(Declaração de Platão no Diálogo de Crítias)

Resumo:

Este trabalho é dedicado a esclarecer o funcionamento do sistema de lubrificação de cilindros em motores *super long stroke*, a necessidade da lubrificação e seus efeitos diretos.

Será exposta a ação do enxofre na câmara de combustão; a correta escolha do TBN e seu conceito junto à lubrificação, passando por todo o processo de combustão e seus resultados; os gastos e formas de minimizar avarias e desperdícios. O estudo desta área fundamenta-se na extrema importância do Lubrificador De Cilindros, equipamento que implica diretamente no bom funcionamento do motor e que podemos considerar fundamental para sua durabilidade.

Será analisado o relacionamento entre operador e equipamento, no que tange seu funcionamento, as perdas e lucros relacionados diretamente com a lubrificação, assim como as variáveis que tornam este equipamento parte vital de um motor 2 tempos *super long stroke*.

Encontra-se neste estudo o processo evolutivo do sistema de lubrificação de cilindros, as relevâncias tecnológicas encontradas nos motores de injeção eletrônica e como o Lubrificador ficou associado a estes. Apresento também causas e consequências da correta e da incorreta lubrificação dos cilindros, tanto no que diz respeito a novos componentes instalados quanto à rotina de funcionamento do motor.

Infelizmente não dispomos de estudo relacionado a este assunto, em particular no nosso idioma. Apenas um é encontrado através de consulta nos arquivos virtuais da WEB, que é um artigo que eu mesmo publiquei em meu blog (www.blogdovapozeiro.com.br). Existem os manuais de fabricantes internacionais, aos quais temos acesso apenas enquanto estamos embarcados ou em suas *webpages*, por isso a apresentação deste estudo trará resultados de pesquisa de campo e experiências pessoais com o equipamento, servindo assim de fonte para futuros estudos e início de um novo campo a ser discutido junto às grandes corporações marítimas. Fato que contribuirá para que seja dada maior atenção ao assunto.

Palavras-Chave:

Enxofre; Lubrificante; Lubrificador de Cilindros; Relação Econômica; TBN; Manutenção e Meio Ambiente.

Abstract:

This work has a focus on the Cylinder Lubrication system in a Super Long Stroke Diesel Engine and the reason for cylinder lubrication itself, as well as its direct results.

Some of the topics to be exposed are the action of sulfur in the combustion chamber, the choice of the right TBN and TBN concepts. In this paper, all combustion process and its results will be covered, as the costs and the way to minimize losses and breakdowns. The study of this area is based in the extreme importance of Cylinder Lubricators, equipment which implicates directly in the diesel engine operation and durability as main principle basis.

It is analysed here the relation between equipment and operator, the equipment operation, the profits and prejudices directly related to lubrication, as well as the variables which make this equipment a vital part of the Super long Stroke Diesel Engine.

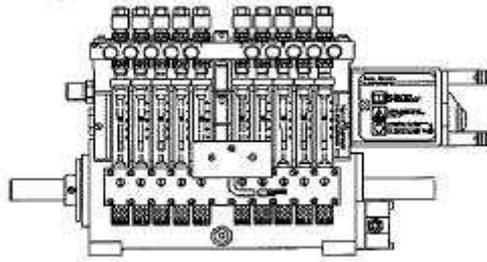
This research involves the evolution process of cylinder lubrication system, the important technological aspects which can be found in a electronic injection diesel engine, and also how the lubricator is associated to the engine. Here we can also find the cause and effects of the right and wrong cylinder lubrication parameters, concerning both new components and engine normal operation conditions.

Unfortunately, there is no material available about this subject for research. In Portuguese there is only one public article about lubrication, which is a post in my own blog (www.blogdovapozeiro.com.br). We can find more only in manufacturer manual on board or in their webpages. For this reason, this study is presenting results of my own field research and professional experience with all the cylinder lubrication system. This monograph can be a resource to future studies and also a possible beginning for the exploration of this topic by the Brazilian maritime companies.

Keywords:

Sulfur, Lubricant; Cylinder Lubricator; Economical Relation; TBN; Maintenance and Environment.

LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS



Será que damos a devida atenção a esta parte tão importante de um motor *Super Long Stroke*?

Acredito que, assim como eu, muitos maquinistas quando saíram das escolas não tinham noção da importância da lubrificação de cilindros, tanto no funcionamento normal do motor quanto em situações de troca de anéis, camisa ou pistões. Só fui ter ciência da importância e de como aquilo funcionava na minha praticagem, pois o navio em que embarquei estava passando por um problema em consequência da má lubrificação do cilindro. Lendo o manual e também através da experiência dos colegas, comecei a conhecer melhor o assunto, mas confesso que muitos que já estavam a bordo não conheciam. Não sabiam por que ou como aquilo funcionava. Na verdade ainda hoje nos deparamos com esta situação a bordo. Para começarmos a falar sobre a importância da lubrificação de cilindros precisamos mencionar alguns fatores referentes ao combustível, à combustão e ao deslocamento do pistão na camisa.

- **O Combustível:**



O Enxofre (S) na sua forma SO_3 é um dos principais agentes corrosivos das câmaras de combustão, principalmente quando em contato com H_2O que chega à câmara de combustão através do ar de lavagem. Devido ao aumento da temperatura da câmara no momento da

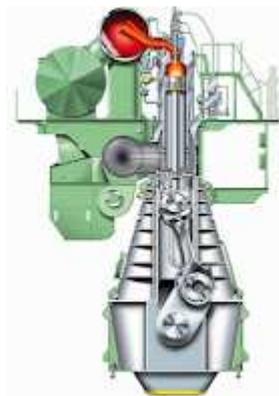
combustão e do próprio combustível , quando o SO_3 e H_2O se encontram a combinação vira Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), que todos nós sabemos ser extremamente nocivo. O MF 380 é fornecido pela Petrobrás na seguinte forma: Densidade de 0,9878; Viscosidade 380CST a 50°C ; composto da mistura de Óleo Combustível 1A 86,5 % mais Óleo Diesel Marítimo (que fique bem claro que é Óleo Diesel Marítimo, aquele bem marrom e sujo) 13,5%. Estas proporções são ajustadas no processo de preparação do MF.

- **A Combustão:**



Os resíduos gerados na combustão estão cheios de partículas abrasivas, enxofre, vanádio, alumínio, água e mais uma grande quantidade de resíduos. Juntando todos estes metais e ácidos temos o processo corrosivo químico e mecânico.

- **Deslocamento do Pistão na Camisa:**



O atrito gerado neste processo, ainda que reduzido pela lubrificação, ainda existe e é um aditivo ao desgaste de pistão, anéis e camisa.

Imaginemos uma peça de aço de 2,4mm de comprimento deslocando-se dentro de um cilindro de 700 mm de largura, com curso efetivo de 2200 mm a uma velocidade média de 6 m/s. Todo este atrito tem que ser diminuído ao máximo para que o motor possa funcionar bem por muitos anos.

Pois bem, somando-se estes e outros fatores, mas principalmente o combustível, temos os motivadores da adição do óleo de cilindro. Quando este estudo foi realizado pelo fabricante, este percebeu a necessidade de inserir algo que mitigasse todos os “defeitos” do combustível e da combustão.

Porém o principal vilão de todo este processo é o enxofre, impossível de ser retirado. No entanto pode ser combatido e reduzido no combustível de qualidade.

De que forma então se dá a diminuição da ação do enxofre?

Se o enxofre em contato com a água forma ácido, é necessária uma base para neutralizar este ácido. Este processo requer cuidado contínuo, a saber: para que tenhamos o controle da ação ácida na câmara de combustão, vamos colocar um óleo com alto Número de Base Total, ou seja, um óleo com TBN suficiente para combater o ácido. TBN (Total Base Number) significa o grau de alcalinidade do óleo a ser usado. Se adicionarmos esta base durante o processo de combustão, vamos combater *in loco* a formação do ácido sulfúrico.

É importante salientar que esta não é a única função do óleo de cilindro. Outra função importantíssima é a lubrificação da camisa, pois, ao contrário dos motores de alta e média rotação, os motores *Super Long Stroke* não possuem anel de lubrificação. Isto se deve ao fato de que o óleo que chega à cabeça do pistão serve apenas para arrefecimento do mesmo. Desta forma, o que fica responsável pela lubrificação da camisa é o óleo de cilindro.

Funções principais do Óleo de Cilindro:

1. Lubrificar a camisa
2. Combater a corrosão ácida
3. Ajudar a selar o pistão, evitando a perda de compressão e pressão de combustão.

Para que o óleo de cilindro seja adicionado na quantidade correta, precisamos fazer um cálculo bem simples, baseando a massa de óleo em função da potência do motor, g/BHP vamos lá:

Sabendo a vazão atual do lubrificador (Q), podemos encontrar o curso da bomba através deste cálculo:

$S=1045,1 \times Q / D^2 \times G \times N \times C$, onde:

S= curso da bomba do lubrificador

Q= vazão de alimentação do lubrificador (Kg/24h)

D= diâmetro do pistão da bomba do lubrificador em milímetros

G= número de pontos de lubrificação

N= rotação do lubrificador

C= número de cilindros do motor

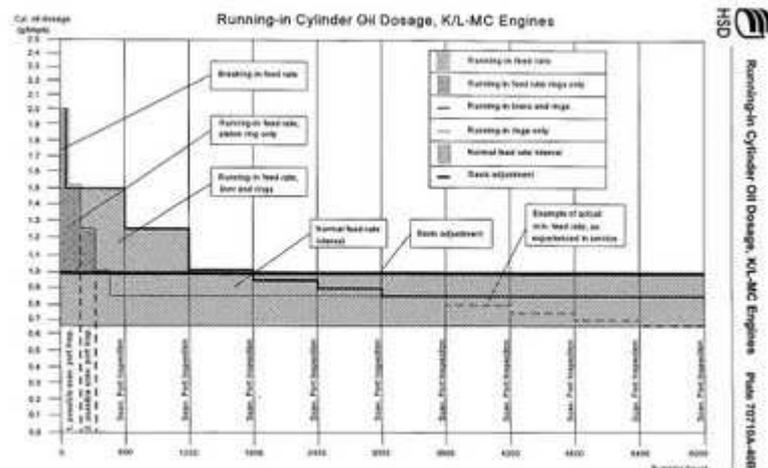
0,94= densidade específica para óleo SAE 50

Caso queiramos saber a vazão em litros por dia, fazemos o seguinte cálculo:

$$Q= S \times D^2 \times G \times N \times C / 1045.1 \times 0,94$$

Todas estas informações sobre o lubrificador devem ser retiradas de seu manual exatamente como está especificado. Não é recomendado utilizar valor aproximado pois poderá haver grande discrepância no consumo de óleo de cilindro. O cálculo da vazão do lubrificador pode ser feito também bloqueando a alimentação de óleo que vem do tanque de armazenamento e cronometrando o tempo que o lubrificador leva para consumir o óleo de seu reservatório (verifique o volume do reservatório no manual do lubrificador).

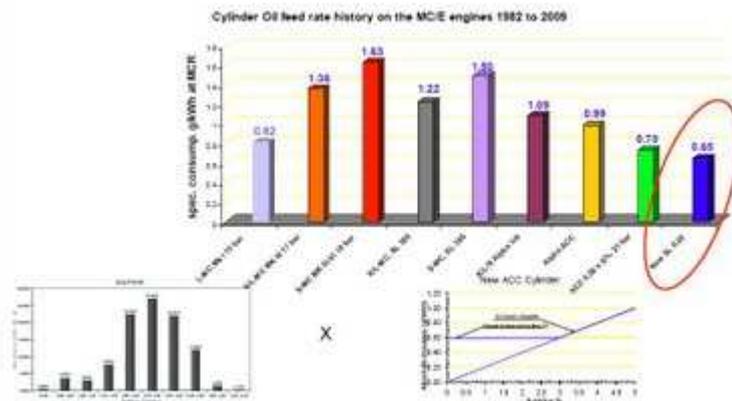
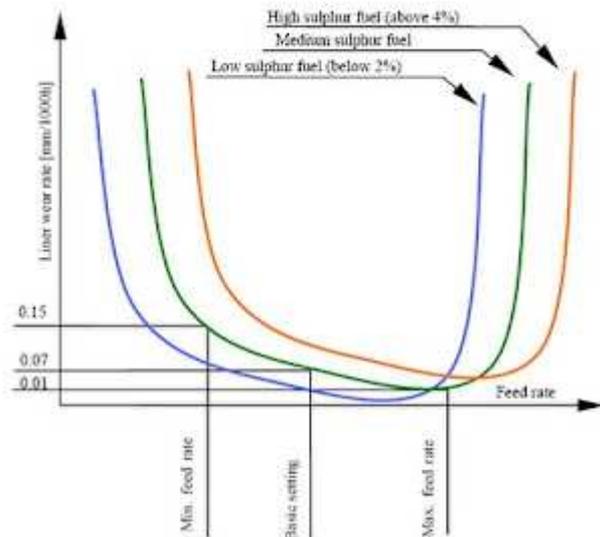
A MAN B&W recomenda para um motor, após 3600 horas de funcionamento quando novo ou após cumprir o intervalo de manutenção (Running-in), um ajuste médio de 0,8 g/bhph, o que dará em média 285 litros por dia. É importante salientar que todo ajuste feito no lubrificador deve ser seguido de inspeções das camisas em intervalos contínuos, via espaço amortecedor (stuffing box)ou caixão de ar de lavagem.



Além da função de lubrificação normal durante a operação do motor, o lubrificador ainda possui ajuste de vazão para funções especiais, como por exemplo, na ocasião de troca de

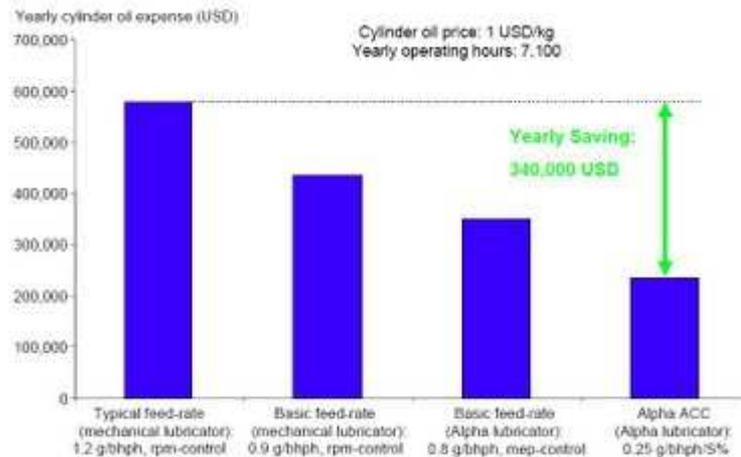
camisa, anéis e pistão. Nesta situação a lubrificação e o próprio funcionamento do motor devem seguir padrões rigorosos de controle.

Vejamos abaixo alguns gráficos demonstrando a ação da Lubrificação de Cilindros:



Neste último temos o exemplo claro da melhora da lubrificação ao longo de anos de avanços tecnológicos e estudos das causas e consequências da lubrificação de cilindros.

No gráfico abaixo podemos notar a economia relacionada à redução do enxofre no combustível, tendo como consequência a redução do óleo de cilindro visto que são fatores diretamente proporcionais. Ou seja, quanto maior a presença de enxofre no combustível, maior a dosagem de óleo de cilindro, resultando na evolução da tecnologia de lubrificadores.



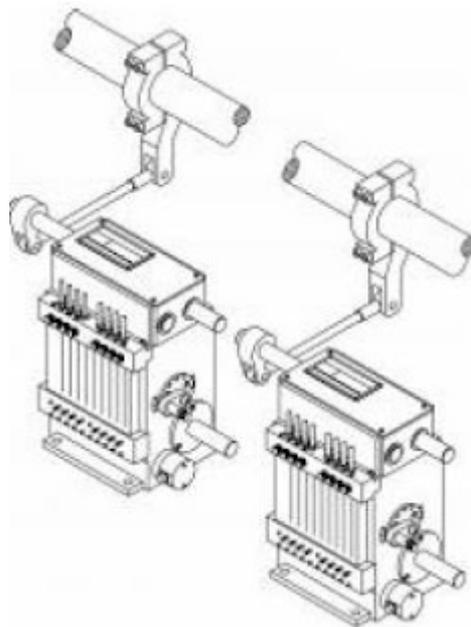
OS LUBRIFICADORES DE CILINDROS

Partiremos agora para a descrição destes equipamentos. Não entraremos em detalhes de construção, apenas funcionamento.

Existem disponíveis no mercado três tipos de lubrificadores: os totalmente mecânicos, os eletromecânicos e os automáticos.

- **Lubrificadores Mecânicos**

São os mais conhecidos pelos profissionais a bordo. Devido à média de idade de nossas embarcações, muitos ainda não tiveram oportunidade de ver outros modelos. Estes podem ser do tipo *MEP Regulation* ou *BHP Regulation*.

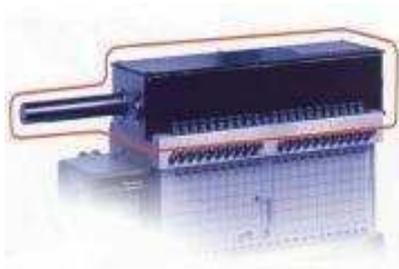


➤ ***Mean Effective Pressure (MEP) Regulation*** :

Este modelo de lubrificador leva este nome pelo fato da lubrificação ficar condicionada à pressão média efetiva do motor. O lubrificador é totalmente dependente da rotação do motor,

o que, em condições de carga média, pode não ser tão preciso uma vez que o ajuste de injeção do lubrificador está ligado ao eixo de comando do index das bombas injetoras.

Devemos estar atentos a este *link* entre o eixo de comando do index e o lubrificador. Há registros de aceleração repentina do motor pelo fato do index ficar preso em função do lubrificador, o que pode fazer com que o motor dispare e depois pare por sobrevelocidade. Por isso a necessidade de lubrificar sempre o eixo e verificar os parafusos de fixação por conta da vibração.



➤ ***Break Horse Power Regulation:***

Este modelo de lubrificador vem com um regulador montado na sua parte superior. O eixo de comando do index das bombas injetoras é ligado a este dispositivo que, em situações de carga, controla a vazão do lubrificador evitando assim má lubrificação, tanto em alta carga quanto em carga baixa.

A diferença entre o MEP e o BHP é o local onde é conectado o eixo de comando das bombas injetoras. No caso do BHP a lubrificação é relacionada não apenas à rotação e variação do index, mas também à carga do motor.



- **Lubrificadores Eletromecânicos**

Este modelo funciona por acionamento mecânico do lubrificador via RPM do motor, porém com uma unidade de controle eletrônica que aciona válvulas solenóides visando melhorar o desempenho do lubrificador nas diversas situações de carga do motor.

Estas solenóides são controladas por uma unidade eletrônica que recebe sinal de *pick-ups* instalados no volante e controlam a vazão de cada lubrificador. O sistema pode ser instalado no modelos já existentes sem que seja necessário fazer alterações no MCP.



- **Lubrificadores Automáticos**

Esta tecnologia está presente na maior parte dos motores de injeção eletrônica, pois concilia a eletrônica aplicada ao motor com a do lubrificador de cilindro, porém não é regra. Este tipo de lubrificador tanto pode ser encontrado em navios novos como pode ser instalado em substituição aos antigos, o que deveria ser feito imediatamente em todos os navios, tendo em vista o cenário atual.

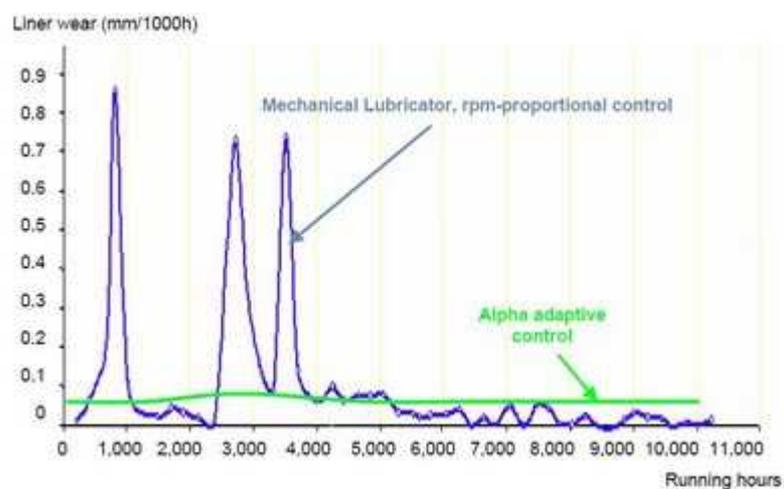
Como não poderia deixar de ser, a evolução tecnológica e a pressão dos órgãos regulamentadores para diminuir a emissão de substâncias nocivas através dos gases remanescentes da combustão obrigaram os fabricantes a criar este sistema. Nos motores MAN B7W são denominados “Alfa Lubricators”, nos Wartsila-Sulzer são chamados CLU-3 (Cylinder Lubrication Unit). O modelo da foto é da HJ Lubricators, utilizado nos motores MAN B&W.

Este sistema utiliza um sensor instalado no volante do MCP individual para cada cilindro e um sistema de pressurização com acumuladores de nitrogênio, o que torna o lubrificador independente da rotação do motor, uma vez que a pressão de lubrificação é fornecida pelo sistema de acumuladores.



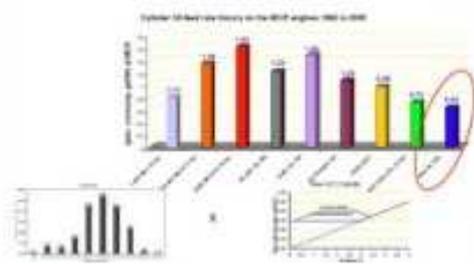
Além de ter o sensor no volante, possui ainda um sistema ligado ao indicador de carga do motor e interface IMM (*Interface Man Machine*). É possível alterar, monitorar e visualizar informações referentes ao processo *online* da lubrificação individual por cilindro.

Possui também um *software* de monitoramento ligado ao computador no CCM, o que facilita ainda mais, dando a opção de imprimir relatórios e processos *online*. Quando associados aos motores eletrônicos, trabalham ainda melhor, pois ficam conectados em rede com todos os outros parâmetros do motor durante o processo de combustão.



Este sistema está sendo cada vez mais utilizado a bordo, porém os profissionais não estão recebendo treinamento para manusear estes equipamentos. Ainda que sejam fabricadas mais máquinas que não necessitem de operador, o funcionamento destas deve ser monitorado e o profissional precisa entender o processo para ser capaz de detectar e solucionar problemas.

Caso contrário sempre existirão manômetros e termômetros com pressão e temperatura “ideais” indicados a caneta, com o risco de a marcação ter sido feita no valor incorreto.



Lá no início mencionei um problema ocorrido no navio em que cumpri a praticagem (NT Cartola), onde tive a oportunidade de aprender sobre lubrificação de cilindro. Utilizando este exemplo, citarei abaixo alguns problemas relacionados à falta ou excesso de lubrificação e também o que seria a lubrificação ideal.



- **Pouca Lubrificação**

Este problema é menos frequente do que se imagina, pois o maior erro encontrado hoje a bordo é a política do “**Não mexe no que ta funcionando!**”. Ou seja, enquanto o equipamento estiver funcionando, o profissional não se preocupa em fazer uma avaliação mais profunda. Como os lubrificadores vêm ajustados de fábrica, não é muito comum vermos casos de pouca lubrificação.

Quando isto acontece, a lubrificação de cilindro deixa de existir, o que pode resultar em perda de material patente da camisa, ou seja, desgaste prematuro. Faltando óleo para combater o enxofre, temos um acelerado processo de corrosão ácida na camisa que aumenta mais

rápido que o normal devido à alta temperatura segundo o princípio de Arrhenius. Os anéis de segmentos ficam ressecados por conta da fuligem da combustão e podem quebrar. Ocorre também um aumento da temperatura do cilindro em função do aumento do atrito entre anéis e camisa, entre outros problemas. Na figura abaixo podemos notar algumas destas características. A coroa do pistão está coberta de material pós-combustão e os anéis estão secos e arranhados. Se pudéssemos ver o espaço amortecedor perceberíamos uma grande quantidade de fuligem seca com depósitos de carbono.



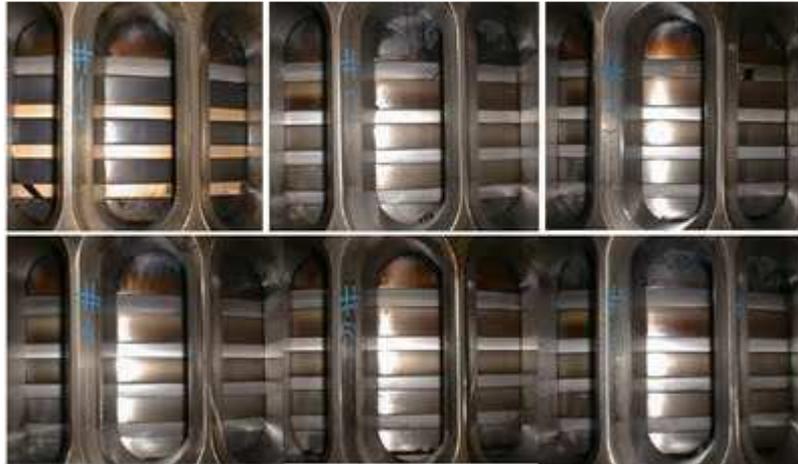
- **Excesso de Lubrificação**

Este era o problema do Cartola e Ataulfo Alves quando embarquei na minha praticagem. Estes navios são dotados de um MCP MAN B&W 6L70MC com lubrificador equipado com LCD (BHP Regulation). Além de os lubrificadores estarem com ajuste de lubrificação muito alto (em torno de 1,8 g /bhph), a função do LCD contribuía ainda mais para a super lubrificação, pois a esta aumentava muito em consequência das variações de carga. Por conta da super lubrificação, as camisas sofreram um desgaste prematuro muito alto, até três vezes mais rápidas do que o normal, devido à massa calcária formada pelo excesso de agente de base no óleo. A massa calcária é um produto que se assemelha ao cimento. Ocorreu também alteração do metal patente devido à ação química da alta alcalinidade, o que tornou o material mais “mole”.

Realizada inspeção do espaço amortecedor, verificou-se a quantidade de óleo residual. No tanque de dreno do espaço amortecedor era possível ver a quantidade de óleo descartado.

O resultado foi a troca sequencial de todas as camisas do motor, pois estas foram rachando uma a uma em um intervalo de tempo quase que “programado”. Foi um período de bastante aprendizado, pois uma vez por mês trocava-se a camisa do MCP.

Abaixo podemos observar um exemplo de excelente lubrificação de um MCP para comparação com os exemplos citados acima.



Visto o exposto, recomenda-se sempre que for realizada qualquer alteração no lubrificador, fazer inspeção regular do espaço amortecedor para certificar-se de que não há problemas. É importante fazer os cálculos e acompanhar as mudanças ao longo das inspeções, além da leitura do manual do fabricante.

Podemos então concluir o quão importante é o sistema de lubrificação e todo seu envolvimento no funcionamento do motor. Neste aspecto incluímos todos os gastos e consumos gerados pela não observação dos aspectos aqui demonstrados. Para um Oficial de Máquinas este conhecimento é fundamental para que todo o conceito de lubrificação seja empregado de forma correta e objetiva, eliminando assim qualquer possibilidade de avaria ou gastos além do normais ou planejados por assim dizer.

Tratando assim deste assunto com mais proximidade vemos o quanto financeiramente podemos poupar quando a lubrificação é bem empregada. Sabemos que este assunto é pouco discutido, o que é uma lástima, mas aos poucos novos conceitos estão sendo desenvolvidos e novas tecnologias são empregadas a cada dia.

Referências:

Manual Man B&W 6L70MC, Volume 6, Capítulo 11, 2002.

ROSI, Dalto. Lubrificação de Cilindros em Motores Superlong Strok, Disponível em :
www.blogdovapozeiro.com.br. Acesso em: 10 de março ,2012;

www.google.com.br, Acesso em : 15 de Abril de 2012;

www.hjlubri.dk, Acesso em : 21 de Abril de 2012 ;

www.blogdovapozeiro.com.br; Acesso em: 05 de maio de 2012;