

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

ETM CELSO DI DOMENICO

A MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS NOS MEIOS NAVAIS DA  
MARINHA

Atualização da abordagem da manutenção com uso de técnicas de manutenção preventiva  
preditiva, visando minimizar custos e maximizar disponibilização e confiabilidade dos meios

Rio de Janeiro

2011

ETM CELSO DI DOMENICO

A MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS NOS MEIOS NAVAIS DA  
MARINHA

Atualização da abordagem da manutenção com uso de técnicas de manutenção preventiva preditiva, visando minimizar custos e maximizar disponibilização e confiabilidade dos meios

Monografia apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (RM1) Nilson da Silva  
Moreira

Rio de Janeiro  
Escola de Guerra Naval  
2011

A meus pais Irineo (in memoriam) e Erminia, pelo amor, carinho, dedicação, sacrifícios e exemplos de vida que dispensaram pela minha formação e educação. Minha eterna gratidão.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela dádiva da vida e por ter me brindado com saúde, permitindo que eu chegasse até aqui.

À Marinha do Brasil pela oportunidade que me distinguiu em poder participar deste curso, onde pude ter o privilégio de realizar contatos com as mais variadas áreas de conhecimento; com personalidades de notável saber; e participar de visitas de estudo a varias instituições de renomada relevância.

Aos meus colegas de turma do C-PEM 2011, pela oportunidade que tive, no convívio diário, de construir novas amizades e pela fidalguia, solidariedade e apoio que recebi de todos.

Ao CMG (EN) Ivan Taveira Martins pelo auxílio na elucidação de dúvidas e questões que tornaram esse trabalho mais preciso e claro.

Ao meu Orientador, o CMG(RM1) Nilson da Silva Moreira, pelas orientações seguras, pela paciência e pela disponibilidade que me dispensou durante a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

O aumento da competitividade nas últimas décadas tornou-se vital para a sobrevivência de muitas empresas, o que levou, entre outras coisas, a uma busca incessante por redução de custos e maximização da disponibilidade e confiabilidade de máquinas e equipamentos ligados a produção. Como consequência dessa busca, os sistemas de manutenção de equipamentos sofreram uma constante evolução. Este trabalho propõe uma atualização da abordagem da manutenção de equipamentos e sistemas dos meios navais da Marinha do Brasil (MB) com uso de técnicas de Manutenção Preventiva Preditiva, que levarão a minimização de custos de manutenção e maximização de disponibilização e confiabilidade desses meios. Para alcançar tais propósitos, é apresentada a evolução da manutenção ao longo da história e os principais conceitos da manutenção no mundo, inclusive o da manutenção preventiva preditiva. Por conseguinte, são apresentadas as manutenções empregadas em indústrias e marinhas, inclusive aquela atualmente utilizada na MB, que é preponderantemente Preventiva Periódica. São apresentadas as tentativas anteriores de implantação de uma Manutenção Preventiva Preditiva na MB, desvendando e avaliando os motivos que impediram sua implantação efetiva e sistemática. Finalmente, então, é feita uma proposta de atualização da abordagem da manutenção na MB, relacionando tanto os aspectos logísticos como os estratégicos e financeiros, de modo a implantar definitivamente uma política de Manutenção Preventiva Preditiva efetiva e sistemática, em adição à Manutenção Preventiva Periódica atualmente empregada.

Palavras-chave: Manutenção; Manutenção Preditiva; Manutenção Preventiva; Manutenção Periódica; Monitoração de Vibração; Monitoração do estado do Equipamento; Manutenção baseada na Monitoração de parâmetros operacionais.

## **ABSTRACT**

Increased competitiveness in recent decades has become vital to the survival of many companies, which led, among other things, a relentless pursuit of reducing costs and maximizing the availability and reliability of machinery and systems related to production. As a consequence, maintenance systems have evolved to meet these improved requirements. An update to Brazilian Navy (BN) maintenance systems is proposed, by means of the implementation of condition-based maintenance techniques applied to BN vessels, which is expected to provide increased operation times with reduced ownership costs. To achieve these purposes, maintenance systems key concepts evolution is described, including the condition-based maintenance. Therefore, industrial and Navies maintenance systems employed are presented, with especial attention to periodic maintenance system which is currently used within BN. A brief analysis is made to understand the main reasons which led the BN to fail in the implementation of the predictive maintenance in the past. Then, it finally made a proposal to update the maintenance approach in the BN, linking both the logistical aspects such as strategic and financial, to implement definitely a policy of effective and systematic predictive maintenance, in addition to periodic maintenance currently employed.

**Keywords:** Maintenance; Predictive Maintenance; Preventive Maintenance; Vibration Monitoring; Health Monitoring; Condition-based Maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da Manutenção.....	22
Figura 2 – Tipos de Sistemas de Manutenção.....	24
Figura 3 – Lógica da Manutenção Preventiva Preditiva.....	26
Figura 4 – Redução de Custos/Ações de Manutenção pela implantação da MPrePRE em apoio a MPrePer.....	27
Figura 5 – Sistemática para avaliação da melhor técnica de manutenção.....	33
Figura 6 – Organograma de Subordinação Técnica de acordo com o GT do DGMM.....	43
Figura 7 – Medições e Laudos Técnicos de Vibração - MPrePRE.....	50
Figura 8 – Vantagens da MPrePRE ao ser agregada à MPrePer.....	59
Figura 9 – Proposta do organograma de subordinação e gerenciamento da MPrePRE.....	66

## **LISTA DE TABELAS**

1 – Simetria da Manutenção.....	23
---------------------------------	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAL	- Análise de Apoio Logístico
AC	- Armada do Chile
ADETA	- Automated Diesel Engine Trend Analysis
ALI	- Apoio Logístico Integrado
AMRJ	- Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
AT	- Análise de Tendência
ATENDI	- Sistema de Análise de Tendências de Motores Diesel
BACS	- Base Almirante Castro Silva
BN	- Brazilian Navy
BNRJ	- Base Naval do Rio de Janeiro
CASOp	- Centro de Apoio a Sistemas Operativos
CCI	- Corvetas Classe Inhaúma
CF	- Capitão de Fragata
CIAA	- Centro de Instrução Almirante Alexandrino
CIAW	- Centro de Instrução Almirante Wandenkolk
CMG	- Capitão de Mar e Guerra
CMM	- Coordenadoria de Manutenção de Meios
CPN	- Centro de Projetos de Navios
CTCP	- Contra Torpedeiros Classe Pará
DE	- Diretoria Especializada
DEN	- Diretoria de Engenharia Naval
DGMM	- Diretoria Geral do Material da Marinha
DirISNav	- Dirección de Ingeniería y Sistemas Navales

DN	- Distrito Naval
DSAM	- Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha
EA	- Engenharia de Apoiabilidade
EAM	- Escola de Aprendizes-Marinheiros
EM	- Engenharia de Manutenção
EMA	- Estado Maior da Armada
EN	- Engenheiro Naval
EsNa	- Escola Naval
ETM	- Engenheiro de Tecnologia Militar
EUA	- Estados Unidos da América
FCG	- Fragatas Classe Grenhalgh
FCN	- Fragatas Classe Niterói
GT	- Grupo de Trabalho
IDISTalc	- Inspectoría da Dirección de Ingeniería y Sistemas Navales In Talcahuano
IIGM	- Segunda Guerra Mundial
IT	- Inspetoria Técnica
JOAP	- Joint Oil Analysis Program
LUBE	- Sistema de Análise Químico/Metálico de Óleos Lubrificantes de Motores Diesel
MB	- Marinha do Brasil
MM	- Ministro da Marinha
MPrePer	- Manutenção Preventiva Periódica
MPrePRE	- Manutenção Preventiva Preditiva
NDCC	- Navio de Desembarque de Carros de Combate
NDD	- Navio de Desembarque e Doca
NE	- Navio Escola

NPCG	- Navios Patrulha Classe Grajaú
OL	- Óleos Lubrificantes
OM	- Organização Militar
OMPS	- Organização Militar Prestadora de Serviço
PDCTM	- Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha
PLED	- Plano Especifico de Desenvolvimento
PMG	- Período de Manutenção Geral
RCM	- Reliability Centred Maintenance (Manutenção Centrada na Confiabilidade)
RLT	- Relatório Técnico
SAVMAQ	- Sistema de Análise de Vibração de Máquinas Rotativas
SCT	- Submarinos Classe Tupi
SE	- Supportability Engineering
SMP	- Sistema de Manutenção Planejada
TPM	- Total Productive Maintenance (Manutenção Produtiva Total)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	A MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS .....	19
2.1	A Evolução da Manutenção .....	19
2.2	Os conceitos da Manutenção.....	23
2.3	A Manutenção Preventiva Preditiva .....	26
3	A MANUTENÇÃO EM USO NO MUNDO.....	32
3.1	Práticas de uso renomado .....	34
3.2	A manutenção empregada em indústrias e outras marinhas .....	38
3.2.1	<i>A manutenção na Marinha dos EUA.....</i>	<i>38</i>
3.2.2	<i>A garantia de qualidade da manutenção na Armada Chilena.....</i>	<i>41</i>
4	A MANUTENÇÃO EM USO NA MARINHA .....	47
4.1	Breve histórico .....	47
4.2	Tentativas de Implantação de Técnicas de Manutenção Preventiva Preditiva ....	51
4.3	Procedimentos de manutenção em uso .....	54
5	ATUALIZAÇÃO DA ABORDAGEM DA MANUTENÇÃO NA MARINHA.....	58
5.1	Regulamentação .....	61
5.2	Estrutura e coordenação .....	62
5.3	Treinamento e qualificação de pessoal .....	66
5.4	Aspectos Financeiros .....	68
6	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS.....	73
	APÊNDICE A – Entrevista com o CMG (RM1) Milton Ramires – 21 jun. 2011 .....	76
	APÊNDICE B – Entrevista com o CMG (EN) Ivan Taveira Martins – 22 jul. 2011 .....	81
	APÊNDICE C – Entrevista com o ETM Manoel Celestino Tavares de Sousa – 20 jun. 2011 .....	90
	APÊNDICE D - Medidor de Vibração Instrutherm MV-690 – Lista de sites de venda.....	92
	ANEXO A – Relatório do Grupo de Trabalho – Manutenção Preditiva. DGMM 10 maio 2007 .....	93

<b>ANEXO B – Informações sobre atribuições das organizações na manutenção preditiva pela análise de vibração e outros parâmetros.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO C – Cartão de Manutenção (1° Escalão) para medição de vibração dos Grupos Diesel-Geradores do NE Brasil .....</b>	<b>102</b>
<b>ANEXO D – Cartão de Manutenção (1° Escalão) para medição de vibração da Bomba de Incêndio das FCG.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO E – Instrumentação de medição de vibração das FCG.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO F – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría I - Universidad Concepción – Chile .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO G – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría II - Universidad Concepción – Chile .....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO H – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría III - Universidad Concepción – Chile .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO I – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría IV - Universidad Concepción – Chile .....</b>	<b>121</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Não clama porventura a *sabedoria*, e o entendimento não faz ouvir a sua voz? [...] Porque melhor é a sabedoria do que jóias, e de tudo que se deseja nada se pode comparar com ela.

Bíblia Sagrada (Provérbios 8:1-12).

Equipamentos ou máquinas estão sujeitos a falhas ou avarias. Tais problemas, entretanto, podem ser evitados ou postergados pelo emprego de uma manutenção regular, à semelhança do que é clinicamente recomendado para nós, seres humanos (tratamentos e exames regulares: dentes, colesterol, próstata, preventivos femininos, etc.).

A forma mais intuitiva de manutenção é a chamada “corretiva”, que apenas corrige as falhas já ocorridas (geralmente quando da quebra abrupta de um dos mecanismos da máquina). Entretanto, com a revolução industrial, o tema “Manutenção” passou a atrair grande atenção, devido ao número crescente de máquinas e a busca pela eficiência/disponibilidade destas, visando a produtividade e o lucro. Assim, foram desenvolvidos procedimentos e normas de manutenção a serem aplicados em equipamentos e sistemas, mais sofisticados que a mera manutenção corretiva.

Ao longo do século passado surgiram muitas técnicas de planejamento da manutenção, mas foi durante a Segunda Guerra Mundial (IIGM) que esta se tornou uma necessidade absoluta. Aquele conflito provocou um grande desenvolvimento das técnicas de organização, planejamento e controle da manutenção. Como resultado desse processo, a manutenção passou a ser, preponderantemente, a chamada Manutenção Preventiva Periódica (MPrePer), que, fundamentalmente, imobiliza equipamentos em períodos predeterminados para: inspeções, substituições de uma série de componentes e análises de outros.

A partir do final da década de 1970, com o crescimento da automação na Indústria e com o aparecimento do controle eletrônico e computacional, tornou-se possível o

gerenciamento efetivo e em tempo real destes equipamentos de produção. No bojo desta “Tecnologia da Informação” surgiu, então, a capacidade de uma manutenção automatizada, que por sua vez tornou viável a Manutenção Preventiva Preditiva (MPrePRE), com uso de sensores para monitoração de temperatura, pressão e vibração por exemplo.

No Brasil, a aceitação pelo mercado industrial desta nova forma de manutenção (MPrePRE), em substituição ou em complementação à MPrePer, demorou mais alguns anos. Somente a partir do início dos anos 1990 é que realmente começou a acontecer, como descreve Beltrame<sup>1</sup>:

“Em 1991 a Bruel &Kjaer e logo em seguida a CSI e a SKF lançam no Brasil os seus respectivos coletores de dados, os quais muito se assemelham aos coletores que conhecemos hoje – leves, com grande volume de memória, e com técnicas como os demoduladores de frequência. Finalmente pudemos coletar dados de vibração em larga escala e dizer que tínhamos uma ferramenta de análise de equipamentos na qual a manutenção poderia se fundamentar. Isto alavancou outras técnicas de monitoramento, tais como a termografia e a análise de óleo; ampliando o mundo da Manutenção Preditiva” (Beltrame, 2009, p12).

Na Marinha do Brasil (MB), os procedimentos de manutenção utilizados até hoje em seus meios navais, muito influenciados pelas aquisições ocorridas na década de 70 (em especial o projeto e construção das Fragatas Classe Niterói (FCN), de origem inglesa), são os de MPrePer, nos quais a cada período de tempo programado são feitas manutenções nos equipamentos e sistemas, com troca de sobressalentes, e que normalmente não está condicionada a inspeções para comprovar a real necessidade da troca. Na grande maioria dos navios da MB, em que uma parcela significativa dos equipamentos não possui controle de horas de operação, a substituição é feita em função do tempo do calendário, ou seja, o tempo cronológico desde a última substituição. Assim, apesar das técnicas de manutenção terem evoluído incessantemente ao longo das duas últimas décadas nos países desenvolvidos, e

---

<sup>1</sup> BELTRAME, Eduardo. **Os 18 Anos da Preditiva no Brasil**. Manutenção y Qualidade, Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações e Assessoria Ltda., dez/mar 2009, Revista n°78, p. 12.

mesmo nos meios industrial e naval brasileiros, a MB ainda utiliza, quase que exclusivamente, a MPrePer.

A técnica mais presente nos planos modernos de manutenção de equipamentos e sistemas é a MPrePRE, que utiliza a monitoração e análise de parâmetros das máquinas (temperatura, pressão, vibração, análise de óleo, etc..) visando a identificar sua degradação e dar subsídios para sua manutenção antes da falha. A MPrePRE é mundialmente conhecida como de maior disponibilização e confiabilidade dos equipamentos e minimização dos custos de manutenção, quando comparada à de MPrePer.

A partir da década de 90, a MB adquiriu alguns navios usados, de origens inglesa e estadunidense, que trouxeram conceitos de MPrePRE incorporados em suas rotinas e procedimentos de manutenção, fazendo com que a MB passasse a lidar de forma prática com tais conceitos. Porém, ainda não existia na MB uma normatização para inclusão da MPrePRE nos procedimentos de manutenção de navios e submarinos, o que só veio a ocorrer posteriormente.

Por outro lado, a partir do final dos anos 80, a Diretoria de Engenharia Naval (DEN) e, posteriormente o Centro de Projetos de Navios (CPN) passaram a realizar medições de vibração de equipamentos dos navios e submarinos da MB, produzindo laudos técnicos para MPrePRE, que acabou se tornando uma rotina, já que os navios começaram a constatar suas vantagens, ou seja, a manutenção apresentou-se mais confiável e de menor custo. Este tipo de apoio técnico aos navios foi se intensificando progressivamente, de tal modo que, hoje, praticamente todos os navios da MB solicitam tais medições de vibração.

Em 1996, o Ministro da Marinha (MM) e o Diretor-Geral de Material da Marinha (DGMM) emitiram documentos (memorandos) que procuravam implantar a MPrePRE na MB, em adição à MPrePer já existente nos meios navais. Em atendimento a esses

memorandos, sistemas-piloto<sup>2</sup> de MPrePRE foram desenvolvidos e implantados em navios pré-selecionados<sup>3</sup>, porém não tiveram continuidade, em função de problemas, entre eles os de obsolescência e logística, que serão abordados no escopo desse estudo.

Em 2002, com a revisão do EMA<sup>4</sup>-420, introduziu-se oficialmente o conceito de MPrePRE na manutenção da MB, que pretendia uma manutenção de navios e submarinos ainda de forma preventiva periódica, porém apoiada por análises preventivas preditivas. Contudo, a elaboração desta normatização não resultou em desdobramentos que levassem a ações nos níveis operativos, logísticos, de formação e de treinamento, entre outros. Deste modo, tal normatização não foi suficiente para levar, de forma prática, a uma MPrePRE plena.

Em 2006, do intercâmbio técnico executado entre a MB e a Armada do Chile (AC) na área de manutenção, foi sugerido ao DGMM, por meio de relatório de representante<sup>5</sup>, a implantação, na MB, de sistemática similar àquela adotada pela Armada chilena com relação às técnicas de MPrePRE. Assim, o DGMM criou um Grupo de Trabalho (GT) com a missão de “avaliar os procedimentos empregados pela AC na Organização e Gerenciamento da Manutenção Preditiva e apresentar propostas de medidas para implantação de um sistema similar na MB”. Este grupo de trabalho apresentou Relatório<sup>6</sup> em maio de 2007, concluindo que a implantação da MPrePRE, nos moldes da empregada na AC, traria grandes benefícios aos meios navais da MB, aumentando sua confiabilidade e disponibilidade e reduzindo os custos de reparos. Entretanto, as sugestões de alterações propostas não foram implementadas até a presente data. Dessa forma, o que ocorre até os dias de hoje são ações isoladas de MPrePRE, que não são aplicadas de forma plena, eficiente e sistemática.

---

<sup>2</sup> Sistemas que compreendiam não só “software” e “hardware” mas também os procedimentos e normatização. Foram chamados de “piloto”, pois supunha-se que seriam os primeiros de uma série que viria a ser implantada.

<sup>3</sup> Selecionadas pelo DGMM as Fragatas Classe Niterói (FCN) e as Corvetas Classe Inhaúma (CCI) como navios para implantação inicial.

<sup>4</sup> Norma emitida pelo Estado Maior da Armada (EMA)

<sup>5</sup> BRASIL. Centro de Projetos de Navios, Marinha do Brasil. **RLT-073-NRL-034 – Intercâmbio com a Armada Chilena – Área de Manutenção Preditiva – Relatório de Representante**. Rio de Janeiro. 2006.

<sup>6</sup> BRASIL. Diretoria Geral de Material da Marinha. **Relatório do Grupo de Trabalho – Manutenção Preditiva**. Rio de Janeiro, 10/05/2007

O presente estudo pretende abordar a manutenção nos meios navais da MB, determinando o grau em que ela está desatualizada em relação à empregada em marinhas de países mais desenvolvidos, e sugerindo ações que a atualizem, levando assim a uma minimização de custos e maximização de disponibilização e confiabilidade desses meios. Para tal, este estudo será apresentado na sequência a seguir.

Este primeiro capítulo apresenta uma introdução motivadora ao estudo como um todo.

O segundo capítulo mostra, de maneira sucinta, a evolução da manutenção ao longo da história e os conceitos relacionados à manutenção, em especial à MPrePRE, que será o foco deste estudo.

O terceiro capítulo levanta a manutenção atualmente em uso no mundo e as utilizadas, em especial, na indústria e em outras marinhas pelo mundo afora.

O quarto capítulo apresenta um breve histórico da manutenção na MB, os procedimentos, normas e diretrizes que sustentam a manutenção atualmente em uso e algumas tentativas de implantação da MPrePRE nesta marinha nos últimos 15 anos.

O quinto capítulo sugere então, com uma visão crítica do autor<sup>7</sup>, uma possível atualização da abordagem da manutenção na MB, relacionando tanto os aspectos logísticos como os estratégicos e financeiros, de modo a implantar gradualmente uma política de MPrePRE em adição à MPrePer já empregada pela MB. A investigação das causas que levaram ao insucesso das tentativas anteriores de implantar uma MPrePRE de forma plena e sistemática possibilitará propor medidas que permitam, finalmente, incorporar de forma plena e sistemática, este tipo de técnica na manutenção em todos os navios e submarinos da MB.

---

<sup>7</sup> O autor possui grau de Mestre na área de vibração e mais de 20 anos de experiência na área de MPrePRE na MB e no meio civil.

Finalmente, na conclusão, são apresentadas, de forma resumida, as principais questões levantadas neste estudo, sendo propostas medidas concretas que permitam a atualização da manutenção na MB e, desta forma, levando a uma minimização de custos e maximização da disponibilização e da confiabilidade dos meios.

## 2 A MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

*Manutenção*: “Quando tudo vai bem, ninguém lembra que existe; quando algo vai mal, dizem que não existe; quando se tem gastos, acham que não deveria existir; porém, quando realmente não existe, todos concordam que deveria existir”.

(Arnold Sutter, EUA século XX)

De acordo com Monchy (1989, p. 3 apud WYREBSKI<sup>8</sup>), "O termo 'manutenção' tem sua origem no vocábulo militar, cujo sentido era manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante".

A aplicação do termo “Manutenção”, com o significado de “manter em bom funcionamento os equipamentos e sistemas”, começou a ser utilizada nos EUA e na Europa a partir da IIGM e em substituição ao termo “Conservação”.

Na MB, de acordo com o EMA-420<sup>9</sup> (item 3.2.1.b): “A manutenção é o conjunto de atividades técnicas e administrativas que são executadas visando manter o material<sup>10</sup> na melhor condição para emprego, com confiabilidade, segurança e custo adequado e, quando houver avarias, reconduzi-lo aquela condição”.

### 2.1 A Evolução da Manutenção

A conservação, como era chamada antigamente a manutenção, é uma prática que existe desde o começo da civilização humana. O homem, quando começou a produzir ferramentas manuais, percebeu automaticamente a necessidade de conservá-las e mantê-las

---

<sup>8</sup> WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção Produtiva Total**. Florianópolis: UFSC, jun.1997. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy> no seu cap.2. Acesso em 26 jun. 2011.

<sup>9</sup> EMA-420 – **Normas para Logística do Material** – Capítulo 3 – Processo de Manutenção. Brasília, 2002.

<sup>10</sup> Termo “material” é utilizado no sentido amplo, ou seja: item, equipamento, sistema, ou o próprio meio naval, aeronaval e de fuzileiros (EMA-420 item 3.2.2)

em boas condições de uso. Nas primeiras indústrias artesanais as ferramentas manuais eram fabricadas e mantidas pelos próprios artesãos. Com a construção da máquina a vapor, no século XVIII, a função de conservação começou a merecer uma maior importância em razão do interesse crescente na produção em escala e no lucro. Entretanto, só no século XIX, com a Revolução Industrial, é que surge a Manutenção Corretiva (também chamada de Reativa, porque só atua em reação a uma avaria ou falha). Tal manutenção consistia em substituir as peças que quebravam ou que apresentavam indícios visualmente perceptíveis de que iriam falhar. Os custos dessa manutenção corretiva eram geralmente muito altos, pois, além das peças quebradas e danificadas pela falha, havia também os custos indiretos de parada inesperada da produção. Por esse motivo, a manutenção corretiva acabou se tornando obsoleta, apesar de ser a forma mais evidente de manutenção.

Até 1920 a manutenção era aplicada somente no reparo dos equipamentos avariados, sem contudo haver uma organização e sistematização de rotinas de manutenção. Isso ainda era possível, pois os equipamentos eram projetados com grandes fatores de segurança, tendo assim reduzida a probabilidade de falhas, além do que os sistemas tinham redundâncias (vários equipamentos com mesma função), de modo que a falha de um não immobilizava todo o sistema. Nesta época os operadores somente eram responsáveis por um mínimo de manutenção que estava ligada somente ao desempenho de seu equipamento.

A partir de 1920 a manutenção passou a ser feita, de certa forma, preventivamente, ou seja, a cada período preestabelecido eram feitas inspeções e tomadas ações de manutenção, porém essas ações eram ainda muito simples, tais como lubrificação e reaperto de parafusos. Com a modernização das máquinas, os sistemas ficaram mais vulneráveis a avarias, visto que estes não possuíam mais as redundâncias do passado. Neste período a manutenção ainda não possuía procedimentos que levassem a uma manutenção

sistematizada. Assim, a necessidade de evitar as avarias, e não apenas corrigi-las, ficou cada vez mais evidente.

Somente a partir de 1940 é que a manutenção começou a ser sistematicamente preventiva tornando-se então plenamente “Preventiva Periódica” (MPrePer), tendo os procedimentos e a periodicidade preestabelecidos. Essa nova sistemática logo apresentou substancial resultado com relação às confiabilidade e disponibilidade dos sistemas, já que as avarias se tornaram muito baixas. Entretanto, ela se mostrou muito cara, pelo fato de que se substituíam as peças em função do número de horas de operação, sem que fosse ao menos feito algum tipo de teste ou inspeção para verificar a real degradação da peça substituída.

Após a IIGM e até a década de 1970, em função da experiência da guerra, surgiu nos EUA um novo conceito chamado de Manutenção Produtiva que veio se agregar à MPrePer. Nesse novo conceito buscou-se obter a chamada “falha zero”, introduzindo soluções no projeto de equipamentos que evitassem as falhas e avarias observadas anteriormente e mantendo ainda as ações de MPrePer. Houve uma redução significativa das falhas, mas não se atingiu a “falha zero”, visto que os equipamentos e sistemas estavam se tornando cada vez mais complexos.

Na década de 1960, surgiram outros novos conceitos de manutenção, tipo Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – “Reliability Centred Maintenance”), a Manutenção Produtiva Total (TPM – “Total Productive Maintenance”) e a Terotecologia, que tiveram aplicações visando a “falha zero”. Entretanto, todos esses conceitos novos ainda eram aplicados à manutenção chamada MPrePer.

A partir do final da década de 1970, com o desenvolvimento de instrumentos de medição elétrico/eletrônicos e de novos recursos de processamento de sinais, tornou-se possível cada vez mais a monitoração de parâmetros dos equipamentos (Temperatura, Pressão, Vibração, etc.), viabilizando, então, o surgimento da manutenção chamada

MPrePRE. Nesse novo conceito<sup>11</sup>, que veio cobrir deficiências da MPrePer, como altos custos de manutenção e indisponibilidade dos equipamentos por grandes períodos, monitora-se e avalia-se a evolução no tempo do estado do equipamento, o que permite prever com antecedência a provável ocorrência de falha, à semelhança dos exames médicos feitos no ser humano para avaliar o estado de sua saúde.

Pode-se, então, resumir a evolução da manutenção em três gerações distintas, conforme ilustrado na figura abaixo:

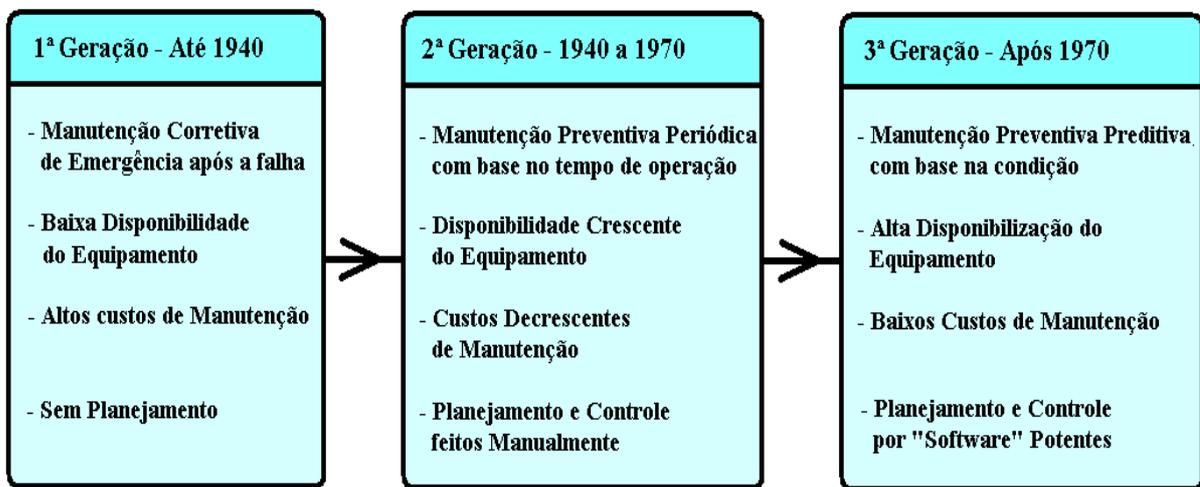


FIGURA 1 – Evolução da Manutenção  
Fonte: elaborado pelo autor

Diversos outros novos conceitos de manutenção são apresentados até os dias de hoje, tais como Manutenção Pró-Ativa, Engenharia de Manutenção, etc., que procuram ver a manutenção como um processo, desde o projeto do equipamento e dos sistemas que irão compor, até seu sucateamento final. Como este estudo visa atualizar a abordagem da manutenção nos meios da MB com uso de técnicas de MPrePRE, então estes novos conceitos não merecerão maior aprofundamento, visto que só terão emprego amplo após a implantação de uma MPrePRE em apoio à MPrePer existente. Vale dizer que todos esses novos conceitos se apóiam fortemente em uma MPrePRE.

<sup>11</sup> O conceito de MPrePRE também ficou conhecido como "Condition-Based Maintenance", "Diagnostic-Based Maintenance", "Condition Monitoring", "Health Monitoring", "Symptomatic Maintenance", etc..

## 2.2 Os conceitos da Manutenção

Existe uma simetria muito grande entre os conceitos de manutenção empregada para equipamentos e os cuidados com a saúde em seres humanos. Baseado em Monchy<sup>12</sup> (1989, p. 2) pode-se traçar essa simetria de acordo com a Tabela a seguir:

<b>SIMETRIA</b>		
<b>Tipo de Manutenção</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Ser Humano</b>
<b>Corretiva</b>	Emergencial, não programada	Pronto-socorro (atendimentos emergenciais)
<b>MPrePer</b>	Substituição de componentes em períodos predeterminados	Posto de saúde (vacinas, orientações, avaliações periódicas, ausculta.....)
<b>MPrePRE</b>	Monitoração de parâmetros sem a parada	Exames laboratoriais (sangue, urina, eletrocardiograma....)

TABELA 1 – Simetria da Manutenção

Fonte: Baseado em Monchy (1989, p. 2)

Apesar de existirem muitos conceitos ligados à manutenção, podemos dizer que as abordagens básicas da manutenção são apenas duas: a Manutenção Planejada e a Não Planejada e que dentro da Manutenção Planejada existem a Manutenção Preventiva, a Eventual e a Corretiva<sup>13</sup>. O fluxograma da Figura 2, a seguir, baseado em Willians (1994, p.3), permite visualizar isso, evitando-se confundir os conceitos como ocorre em muitas publicações<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> MONCHY, François. **A função Manutenção** – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. São Paulo: Editora Durban Ltda., 1989.

<sup>13</sup> A Manutenção Corretiva ocorre não só quando não há qualquer planejamento da manutenção, mas também quando há um planejamento preventivo que venha a falhar.

<sup>14</sup> Em Slack (2002), a classificação da manutenção é dividida em três tipos: Corretiva, Preventiva e Preditiva; Porém, na realidade sabe-se que a Preditiva é uma das Manutenções Preventivas.

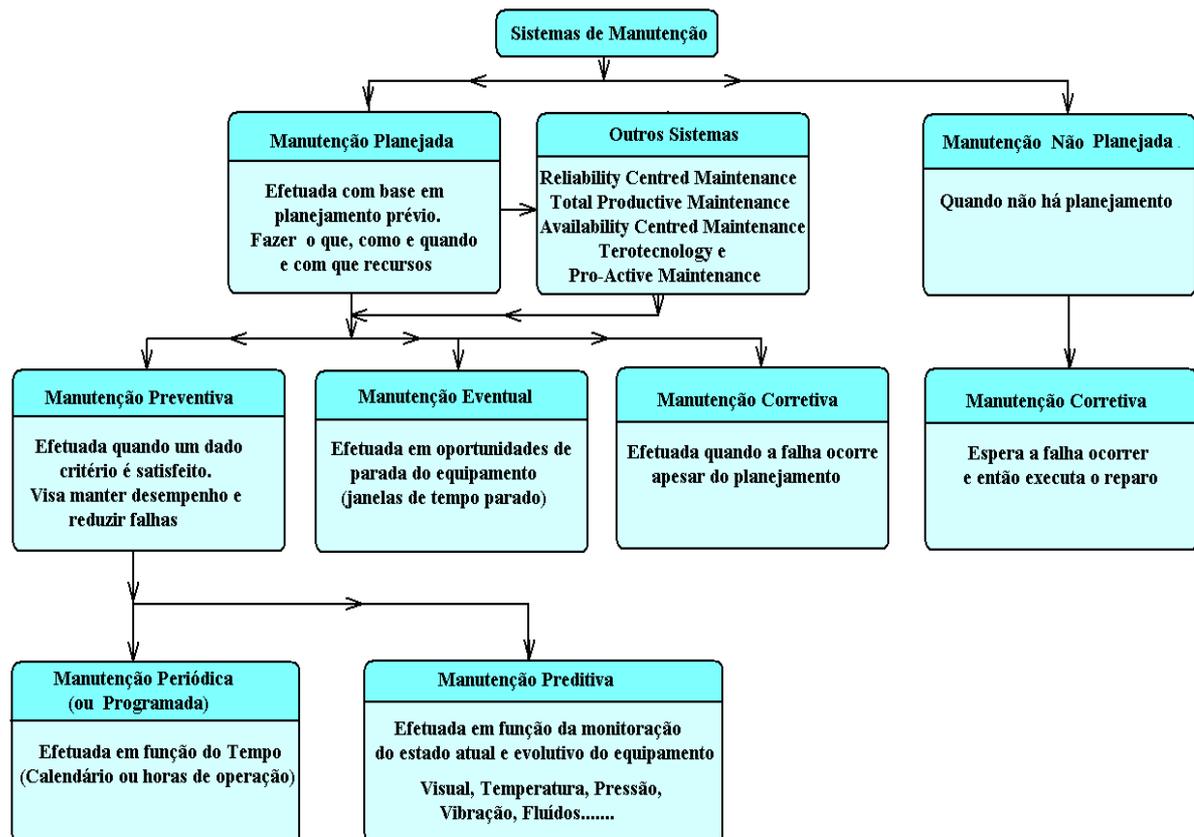


FIGURA 2 - Tipos de Sistemas de Manutenção  
Fonte: Baseado em Willians (1994, p.3).

No próprio meio acadêmico e industrial é comum muitos técnicos falarem das manutenções preventiva e preditiva como sendo distintas. A forma correta de nos referirmos a estas é: Manutenção Preventiva Periódica ou Programada (MPrePer), em que as manutenções são efetuadas em função do tempo de operação do equipamento, em número de horas de operação deste ou mesmo pelo calendário de meses ou anos; e Manutenção Preventiva Preditiva (MPrePRE), em que as manutenções são efetuadas em função da predição do estado (saúde) do equipamento, pela monitoração da evolução de seus parâmetros (vibração, temperatura, pressão....) ao longo tempo.

Na MB a norma que define o sistema de manutenção de seus meios é o EMA-420 (2002). No item 3.4.1 dessa norma são definidos os tipos de manutenção a serem empregados nos meios navais:

“a) Manutenção Preventiva

É o tipo de manutenção executada para reduzir ou evitar a falha ou queda do desempenho do material, sua degradação e, ainda, reduzir a possibilidade de avarias, através da intervenção e/ou remoção periódica do item. Deve obedecer a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

b) Manutenção Preditiva

Esta manutenção é constituída pelo conjunto de medidas, com base em modificações de parâmetros de condições ou desempenho, que têm como propósito caracterizar, acompanhar, diagnosticar e analisar a evolução do estado de equipamentos e sistemas, subsidiando o planejamento e a execução de ações de manutenção para quando forem efetivamente necessárias, a fim de prevenir a ocorrência de falhas e avarias, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível.

c) Manutenção Corretiva

Tipo de manutenção que se destina a reparar ou recuperar o material danificado para repô-lo em condições de uso.

d) Manutenção Modificadora

Consiste nas ações de manutenção destinadas a adequar o equipamento às necessidades ditadas pelas exigências operacionais ou ainda para otimizar os trabalhos da própria manutenção.”

Pode-se dizer que as definições estão corretas, mas os nomes estão incompletos, dando margem a dúvidas. Na verdade, a definição empregada para “Manutenção Preventiva” se refere à “Manutenção Preventiva Periódica (MPrePer)” e a definição empregada para “Manutenção Preditiva” sugere que a titulemos, de forma mais completa, como “Manutenção Preventiva Preditiva (MPrePRE)”. Ambas são Preventivas e podem ser utilizadas de forma complementar, ou seja, poder-se-á fazer uma manutenção periódica, mas com o apoio de técnicas preditivas, como aliás interpreta o item 4.3.3.b do EMA-400<sup>15</sup> (2003):

“A manutenção preventiva é executada para evitar falhas, queda no desempenho do material e, ainda, reduzir a possibilidade de avarias e degradações, através de inspeções, testes, reparações ou substituições. É classificada como planejada.

A manutenção preditiva, conjunto de controles diagnósticos baseados em parâmetros técnicos, está contida na manutenção preventiva. A sua aplicação permite prever o momento mais apropriado para a execução das atividades de manutenção e, dessa forma, chegar o mais próximo possível do limite da vida útil de sistemas e componentes, otimizando o trinômio custo – operacionalidade – manutenção.

A determinação do ponto preditivo, a partir do qual uma queda de desempenho e/ou a probabilidade de o equipamento falhar assumem valores indesejáveis, tanto no aspecto técnico, quanto no econômico, provocará uma intervenção de manutenção corretiva planejada, com o objetivo de eliminar a causa do problema identificado.”

<sup>15</sup> EMA-400 – Manual de Logística da Marinha – Capítulo 4 – Funções Logísticas. Brasília, 2003.

### 2.3 A Manutenção Preventiva Preditiva

A MPrePRE, em conformidade com o item 3.4.1.b do EMA-420 (2002), pode ser considerada então como aquela constituída pelo acompanhamento de modificações de parâmetros de condição ou desempenho, visando diagnosticar e analisar a evolução do estado do equipamento, dando subsídios ao planejamento e à execução de ações de manutenção de modo a prevenir a ocorrência de falhas e avarias, com isto disponibilizando o equipamento por mais tempo e de forma mais segura.

Com a MPrePRE não haverá mais a necessidade de inspeções e desmontagens para avaliar a degradação e desgaste de seus componentes como era com a MPrePer, sendo seus componentes substituídos somente quando realmente houver necessidade. Desta forma, viabiliza-se a programação das paradas dos equipamentos para manutenção em função da necessidade real da sua manutenção, aproveitando de forma mais racional sua vida útil, aumentando sua disponibilidade e sua confiabilidade e reduzindo drasticamente os custos de manutenção.

A MPrePRE empreende então a seguinte lógica à manutenção:

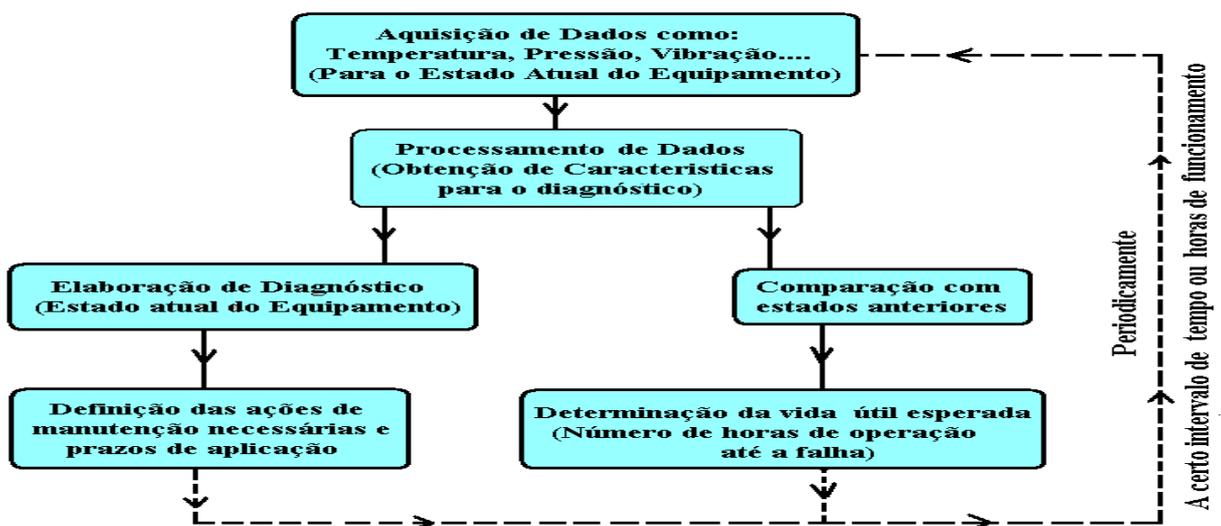


FIGURA 3 – Lógica da Manutenção Preventiva Preditiva

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, fica claro que a MPrePRE não prescinde da MPrePer nem do sistema sob a qual é executada. A MPrePRE torna apenas a MPrePer mais flexível e econômica. A maior vantagem é que a periodicidade será de inspeção ou predição do estado do equipamento, e não mais da substituição automática de itens. Com o uso crescente de técnicas de MPrePRE, implantadas sobre um sistema que já utilize MPrePer, deverá ocorrer uma redução substancial dos custos e das ações de manutenção ao longo do tempo, como sugere a figura a seguir:

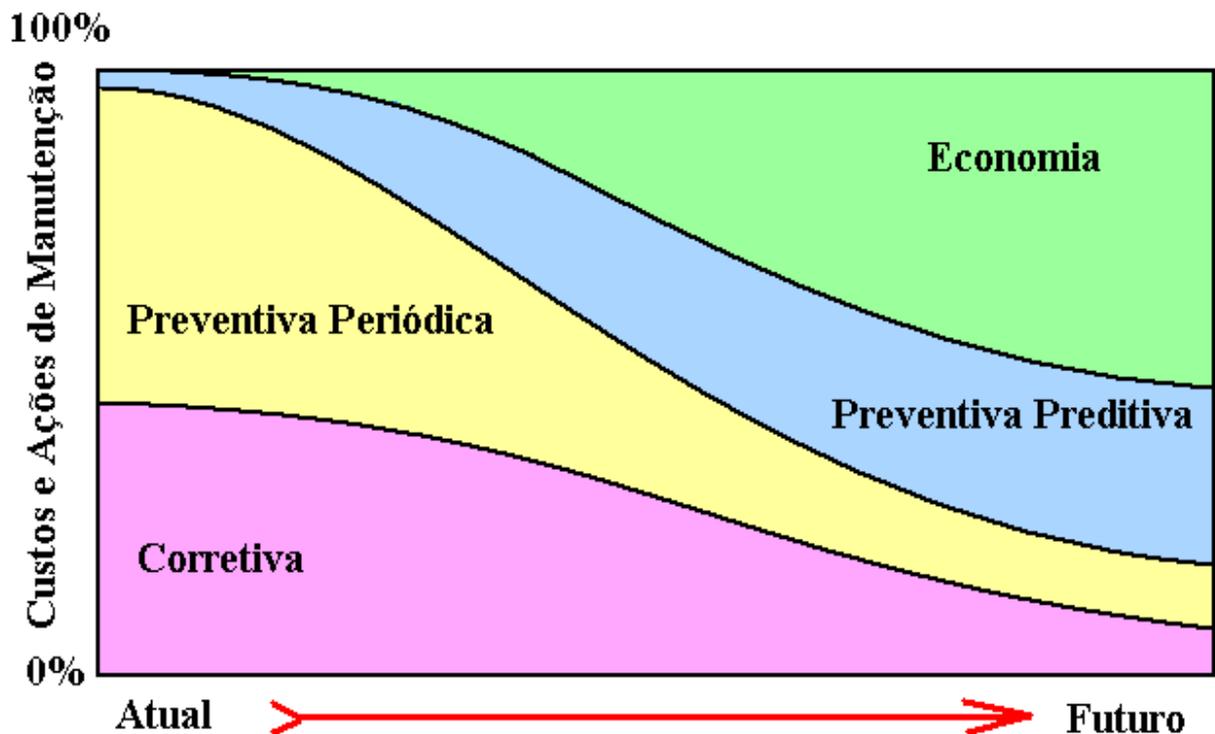


FIGURA 4 – Redução de Custos/Ações de Manutenção pela implantação da MPrePRE em apoio a MPrePer

Fonte: Elaborado pelo autor.

A MPrePRE, realizada com base nas modificações dos parâmetros de condição ou desempenho do equipamento, prediz (ou previne) as falhas nos equipamentos ou sistemas por meio de acompanhamento de parâmetros, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível. Assim, a MPrePRE privilegia a disponibilidade na medida em que não promove intervenções nos equipamentos em operação e só decide pela intervenção quando os

parâmetros acompanhados indicam sua real necessidade, ao contrário da MPrePer que pressupõe a retirada do equipamento (de operação), baseada no tempo de operação.

Quando o nível de degradação do parâmetro monitorado apresenta tendência de crescimento e se aproxima do limite previamente estabelecido, é então tomada a decisão de intervenção, permitindo a preparação prévia do serviço, além de possibilitar o uso de equipamento redundante do sistema, preservando o degradado até sua manutenção.

A avaliação do estado do equipamento se dá por meio do acompanhamento ou monitoração (medição) de parâmetros do equipamento, e pode ser feito por monitoração subjetiva ou objetiva.

Na monitoração subjetiva, o acompanhamento é feito normalmente pelo próprio “condutor”<sup>16</sup> ou pelo técnico responsável pela manutenção do equipamento, utilizando os sentidos do tato, olfato, audição e visão. Ao colocar a palma da mão sobre o mancal do equipamento poderá perceber a temperatura e a vibração, por exemplo. Desta forma, quanto mais experiente for tal condutor ou técnico, mais confiáveis serão os diagnósticos. Entretanto, essa monitoração subjetiva não deve ser adotada como base para decisão por ser justamente subjetiva, servindo, basicamente, como alerta para que seja solicitada uma monitoração objetiva imediata, ou então para que seja preservado o equipamento até que tal monitoração objetiva possa ser realizada na periodicidade prevista, evitando assim, uma possível falha do equipamento.

Na monitoração objetiva o acompanhamento é feito por meio de instrumentação específica. Tal monitoração fornece o valor de medição do parâmetro que está sendo acompanhado. Esta monitoração objetiva pode ainda ser avaliada de forma contínua ou pontual. Em situações em que o tempo de desenvolvimento do defeito é muito curto ou em equipamentos de alta responsabilidade, adota-se o monitoramento contínuo, como é

---

<sup>16</sup> Responsável pela operação do equipamento.

normalmente o caso em turbinas a gás nos meios da MB. Nas demais situações nas quais o defeito progride mais lentamente, ou ainda, em que a falha não impacta a continuidade operacional do sistema, adota-se um plano de medições com monitoramento pontual (periódico), sendo o intervalo entre medições uma função da importância do equipamento ou do histórico de manutenção do equipamento. Entretanto, mesmo utilizando-se uma monitoração objetiva periódica ou contínua, deve-se manter a boa prática da monitoração subjetiva, já que esta é importante na identificação de possíveis falhas do sistema de monitoração objetiva.

A MPrePRE pode ser caracterizada em três fases distintas: caracterização do estado do equipamento pela monitoração de um ou mais parâmetros; diagnóstico de propensão de ocorrência de falha, pela análise dos resultados das medições do parâmetro; e previsão de estados futuros através de AT, estimando o tempo até a ocorrência de falha.

Uma técnica de manutenção é considerada preditiva quando permite a coleta de dados com o equipamento em funcionamento normal, tendo um mínimo de interferência no processo de produção e, além disso, esses dados coletados possibilitem realizar uma análise chamada de “Análise de Tendência<sup>17</sup> (AT)”.

As principais técnicas de monitoração empregadas na MPrePRE são: Vibração, Termografia<sup>18</sup>, Parâmetros Operacionais (Temperatura, Pressão...), Emissão Acústica, Fluídos Operacionais (Óleo Hidráulico, Óleo Lubrificante, Fluido de Resfriamento...), Ferrografia. A seleção da técnica mais adequada depende do tipo de equipamento e da falha a ser observada, mas um equipamento pode requerer uma ou mais técnicas simultaneamente (conhecida como “data fusion”), dependendo do tipo e velocidade de degradação.

---

<sup>17</sup> A apresentação gráfica dos resultados das medições de um determinado parâmetro ao longo do tempo ou das horas de operação do equipamento permitirá observar se há tendência de estabilização ou de crescimento na projeção de resultados futuros, e nesse segundo caso, estimar ainda quantas horas faltam para se atingir o nível de alerta ou alarme.

<sup>18</sup> Imagens com o perfil térmico de equipamentos ou elementos de máquinas.

A análise de vibração tornou-se um dos mais importantes métodos de avaliação do estado de equipamentos, sendo a sua aplicação muito recomendada em equipamentos rotativos (bombas, turbinas, ventiladores, geradores). Os principais instrumentos para medição e análise de vibração são os Coletores de Vibração e os Analisadores de Vibração. Os primeiros são mais simples e normalmente só apresentam valores de vibração em níveis globais, permitindo apenas identificar se houve alguma degradação do equipamento, sem contudo, precisar qual a causa desta deterioração. Já os segundos são mais sofisticados e apresentam os resultados em termos espectrais<sup>19</sup>, permitindo identificar mais precisamente as causas da degradação.

A medição da temperatura, que é um dos parâmetros de mais fácil compreensão e acompanhamento, permite constatar rapidamente alterações na condição dos equipamentos, componentes e do próprio processo produtivo. Alguns exemplos clássicos nos quais a monitoração da temperatura se mostra primordial incluem: a temperatura de mancais de máquinas rotativas; a temperatura da superfície de equipamentos estacionários; e a temperatura de barramentos e ligações (conexões) elétricas. A medição de temperatura pode ser feita por uma série de instrumentos, tais como: termômetro de contato; pirômetro ótico; radiômetro<sup>20</sup>; e termógrafo. A utilização de termografia nas inspeções periódicas de instalações elétricas possibilita identificar pontos de mau contato a partir dos quais se desencadeiam falhas sérias.

A análise de óleo lubrificante também é uma técnica preditiva de grande aplicação, principalmente em máquinas alternativas. Existem duas formas de análise de óleo lubrificante: condições do lubrificante, em que são determinadas as propriedades físico-químicas do lubrificante para garantir uma boa lubrificação; e condições da máquina, em que

---

<sup>19</sup> No domínio da frequência, que é a representação gráfica dos níveis de vibração em cada frequência.

<sup>20</sup> Instrumento portátil de baixo custo que coleta a radiação infravermelha através de sistema ótico fixo, que é então direcionado para um detector tipo termo-pilha, piroelétrico ou fotodetector.

são verificadas as substâncias estranhas ao lubrificante (gases e partículas metálicas ou não metálicas em suspensão no lubrificante). Para avaliar as condições do lubrificante estão disponíveis diversos testes como: viscosidade; índice de neutralização; acidez (TAN) e basicidade (TBN); teor de água; contaminantes insolúveis; espectrometria (presença de metais); rigidez dielétrica; e ponto de fulgor.

### 3 A MANUTENÇÃO EM USO NO MUNDO

De acordo com Pinto (2001, p. 53), em qualquer instalação haverá lugar para diversos tipos de manutenção. Os tipos de manutenções a serem adotados resultam de decisão gerencial que está baseada nos seguintes fatores:

- Importância do equipamento do ponto de vista operacional, de segurança pessoal, de segurança da instalação ou do meio ambiente;
- Custos envolvidos no processo, no reparo/substituição e nas consequências de falha;
- Oportunidade de parada do equipamento/sistema; e
- Adequabilidade Técnica<sup>21</sup> de aplicação de um determinado tipo de manutenção.

Assim, a manutenção empregada em praticamente todas as partes do mundo é múltipla, ou seja, engloba normalmente mais de um tipo de manutenção. Por exemplo, teremos sempre a manutenção corretiva para alguns sistemas que, pela sua natureza, como é o caso de lâmpadas de iluminação, que só são substituídas quando queimam, enquanto as lâmpadas de alerta/alarme em painéis de controle de equipamentos vitais posicionados no mesmo ambiente, serão substituídas de forma preventiva periódica devido à segurança envolvida.

Consequentemente, os gestores de manutenção devem procurar definir quais tipos de manutenção devem ser empregados, considerando na metodologia empregada, em ordem

---

<sup>21</sup> Capacidade de adequação do equipamento/instalação favorecer a aplicação de um determinado tipo de manutenção.

de importância, de acordo com Cury Neto<sup>22</sup> (2001, p. 29): a segurança do trabalhador; o quanto a máquina afeta o meio ambiente; a segurança patrimonial; o quanto uma falha no equipamento impacta o custo, a qualidade e o tempo de reparo; além é claro da relação custo x benefício. A partir do momento em que exista a possibilidade de falha ou avaria, todas as questões citadas deverão ser analisadas de forma lógica, para definir qual a melhor forma de abordagem: manutenção corretiva, preventiva periódica ou preventiva preditiva.

A Figura 5 a seguir, baseada em Neumann (2008 apud CURY NETTO, 2008), mostra um possível fluxograma lógico, com a sistemática para avaliação da melhor técnica de manutenção a ser empregada.

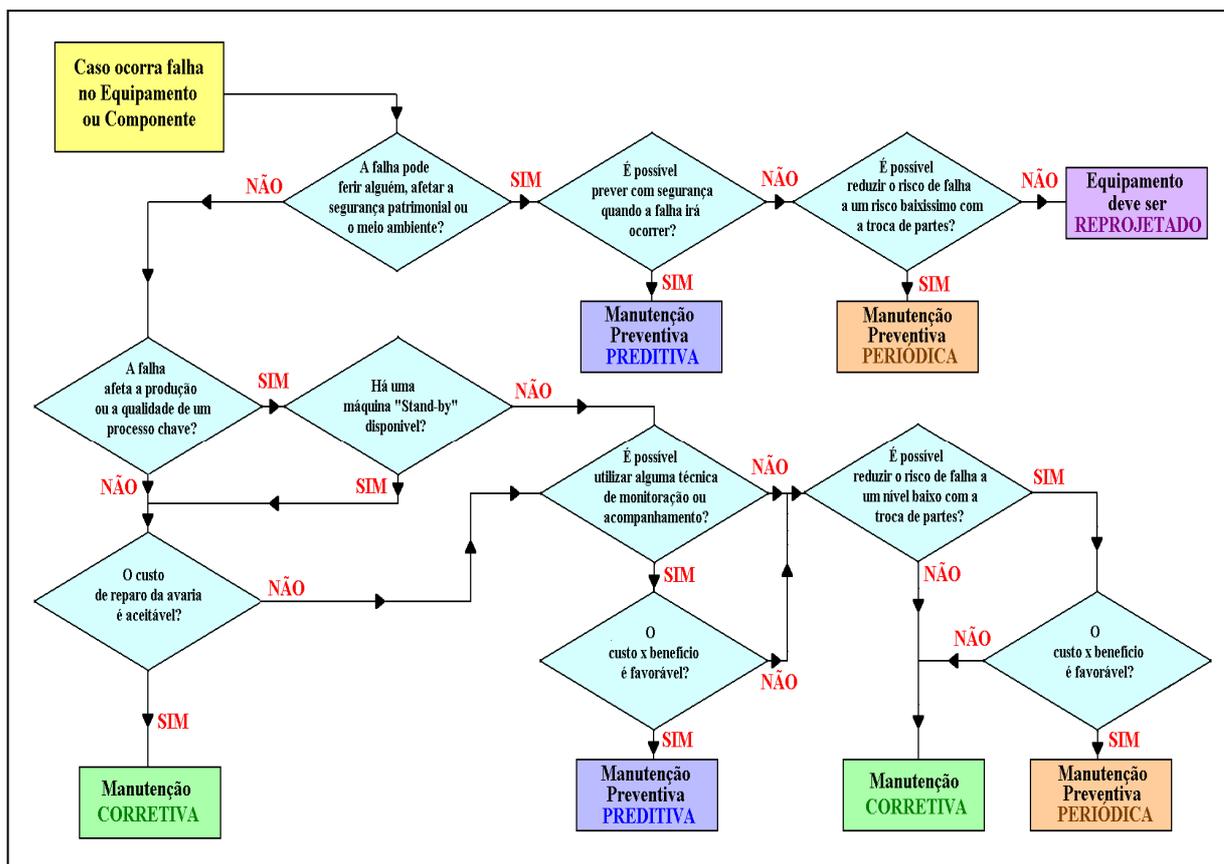


Figura 5 – Sistemática para avaliação da melhor técnica de manutenção.  
Fonte: Baseada em Neumann (2008).

<sup>22</sup> CURY NETTO, Wady Abrahão. **A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias**, Minas Gerais, UFJF, dez. 2008. Monografia do Curso de Engenharia de Produção. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2010/05/wady-UFJF-Engenharia-Monografia.pdf> no seu item 2.5. Acesso em 24 jun. 2011.

### 3.1 Práticas de uso renomado

A Engenharia da Manutenção (EM), a Manutenção Produtiva Total (“Total Productive Maintenance” - TPM) e a Manutenção Centrada na Confiabilidade (“Reliability Centered Maintenance” - RCM) são os conceitos mais modernos aplicados à manutenção de indústrias e sistemas mundiais.

A EM é definida em Pinto (2001, p. 46) como uma prática que visa identificar e sanar as causas básicas dos defeitos, melhorando o desempenho, os padrões e a manutenibilidade, interferindo nas compras e retroalimentando os novos projetos. Ao praticar a EM é necessária uma mudança cultural, ou seja, em vez de ficar consertando indefinidamente os equipamentos, deve-se buscar a causa básica, ou “causa raiz”, que leva às falhas, e realizar as modificações no projeto desses equipamentos, que irão acabar com os problemas crônicos.

A EM é uma evolução que deve ocorrer sobre um sistema que utilize a MPrePRE. Quando estamos com uma MPrePRE plenamente implantada, ainda haverá necessidade da parada do equipamento para substituição de componentes, quando os parâmetros monitorados indicarem a degradação do estado do equipamento. Essas paradas fornecerão indicações de vulnerabilidade no projeto da máquina, que se tornariam as causas das avarias que a MPrePRE conseguiu evitar. A EM pode, então, trabalhar, retroalimentando o projeto, de forma a eliminar as vulnerabilidades constatadas. Assim, a EM irá aperfeiçoar mais ainda o processo de manutenção, já que, ao resolver a causa básica de defeito, irá minimizar mais ainda as paradas dos equipamentos, tanto por quebra como por parada para substituição de componentes.

Já a TPM, como exposto em Pinto (2001, p. 180-181), evoluiu a partir da manutenção preventiva e está baseada no comprometimento de toda a estrutura da empresa na

organização das atividades da manutenção. A TPM é denominada como “Total” porque busca a “Eficiência Global”<sup>23</sup> do equipamento, adota um sistema de manutenção que se aplica ao “Ciclo de Vida”<sup>24</sup> do equipamento e persegue a “Participação de Todos”<sup>25</sup>, do operador ao diretor da empresa.

Uma TPM somente será totalmente eficiente se estiver fundamentada no desenvolvimento de oito áreas distintas da empresa. Segundo Pinto (2001, p. 185) estes oito pilares são:

➤ *Manutenção Autônoma*: Responsável pelo nível-zero da manutenção, em que a manutenção dos equipamentos é feita pelos próprios operadores destes equipamentos, garantindo o alto nível de produtividade. Tais atividades começam nos equipamentos e se estendem a toda produção. O objetivo é conscientizar o operador de sua responsabilidade com o equipamento;

➤ *Manutenção Planejada*: Responsável pelo planejamento de toda a manutenção em seu nível macro, sendo de responsabilidade do setor de manutenção da empresa. O objetivo é aumentar a eficiência global dos equipamentos e com isso também a disponibilidade operacional;

➤ *Melhoria Específica*: Responsável pelo gerenciamento das informações de funcionamento dos equipamentos, gerando estatísticas e propondo otimização que visa eliminar perdas. O objetivo é desenvolver melhoria contínua ao processo de manutenção de equipamentos;

➤ *Educação e Treinamento*: Responsável pelo controle do conhecimento dos operadores, mantenedores e lideranças inseridas na manutenção. O objetivo é

---

<sup>23</sup> O equipamento não pode parar, quebrar ou apresentar defeitos durante o período em que está programado para operar. Este é o conceito de “Quebra Zero”, “Acidente Zero” e “Falha Zero”.

<sup>24</sup> A manutenção do equipamento deve ser idealizada desde seu projeto, estabelecer critérios e programas de manutenção durante seu uso e definir como e quando será seu sucateamento e substituição.

<sup>25</sup> Reformulação e melhoria da estrutura empresarial, com o envolvimento de todos os níveis hierárquicos e mudança da postura organizacional.

reduzir perdas por falha humana através de treinamento, capacitação, aquisição de habilidades e autoestima;

➤ *Controle Inicial*: Responsável pela gestão unificada das informações e requisitos de manutenção de novos equipamentos. O objetivo é evitar deficiências na execução de manutenção de equipamentos por falta de informações referentes ao histórico de funcionamento;

➤ *Manutenção da Qualidade*: Responsável pelo eficiente reparo e ajuste das máquinas de produção. O objetivo é ter “zero defeito” de produtos;

➤ *TPM Administrativo*: Responsável pelo uso da metodologia da Manutenção Produtiva Total, em todos os setores da empresa, organizando os processos a fim de otimizá-los, em rapidez, qualidade e confiabilidade. O objetivo é reduzir perdas administrativas; e

➤ *Segurança/Saúde/Meio Ambiente*: Responsável pela gestão do ambiente de trabalho, visando a sua limpeza e segurança. O objetivo é ter nível zero de acidentes ambientais e do trabalho.

A eficiência da TPM é explicitada por um índice chamado de “Nível Global de Eficiência”<sup>26</sup>, que é obtido pelo produto de três fatores medidos – disponibilidade, desempenho e produção, não do equipamento, mas de toda a instalação produtiva.

A adoção da TPM após 1970 trouxe às indústrias, principalmente as japonesas, uma redução de quebras, de custos de manutenção e de tempo gasto nas intervenções realizadas, mas também trouxe um acréscimo da vida útil e da disponibilidade dos equipamentos, que levou a um aumento do faturamento.

Por último, a RCM, que significa uma manutenção baseada na confiabilidade ao equipamento, é um conceito relativamente moderno que busca impedir, não a falha em si

---

<sup>26</sup> Conhecido como “Overall Efficiency Index” (OEI). Mundialmente é considerada, como meta básica, um OEI acima de 85%.

(como a TPM), mas a consequência da falha, caso ela vier a ocorrer. Este novo conceito reconhece que falhas não previsíveis são possíveis de ocorrer, independente das medidas preventivas que se tome.

A RCM surgiu na indústria de aviação civil dos EUA ao buscar uma filosofia de manutenção e operação das aeronaves, que procurava evitar a ocorrência de desastres aéreos decorrentes de falhas ou defeitos de equipamentos. Esta nova técnica procura identificar as diversas formas de como um componente pode vir a falhar, fazendo-se então a previsão de quais ações de bloqueio devem ser tomadas para evitar as consequências dessa falha. Desta forma, a RCM define as necessidades do equipamento ou sistema, questiona o que se espera dele e então formula uma política de manutenção adequada. Para determinar estas necessidades do equipamento ou sistema, Moubray (1991, p. 8) define os questionamentos a serem normalmente feitos:

- Quais funções e padrões de desempenho se espera do equipamento, considerando o perfil operacional previsto?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha operacional?
- O que se sucede quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha tem importância?
- O que pode ser feito para prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não existir uma ação preventiva apropriada?

Pode-se dizer que os principais objetivos da RCM, como define Smith (1997), são: preservar as funções do sistema; identificar modos de falha que influenciam tais funções; indicar a importância de cada falha funcional; e definir as tarefas preventivas para cada falha funcional.

Dessa forma, pode-se considerar que a RCM produz uma manutenção muito mais ampla e com melhores resultados que a TPM, visto que esta última está preocupada com ações que buscam a melhoria de eficiência, enquanto a RCM, além de tomar ações de prevenção da falha, se preocupa mesmo em produzir procedimentos para prevenir sim as consequências dessas falhas, quando elas vierem a ocorrer.

### **3.2 A manutenção empregada em indústrias e outras marinhas**

Como vimos anteriormente em 3.1, os conceitos mais modernos empregados na manutenção, tanto em indústrias como em marinhas de países desenvolvidos, são a EM, a TPM e a RCM. Entretanto, nesses países desenvolvidos, independentemente da sistemática de manutenção empregada ser a EM, a TPM, a RCM ou outra, a seleção da(s) técnica(s) de manutenção a ser(em) empregada(s) para cada equipamento ou sistema obedecerá sempre a uma lógica igual ou similar àquela apresentada anteriormente na Figura 5. Tal lógica define uma Manutenção Corretiva, MPrePer ou MPrePRE, sendo a MPrePer apoiada por uma MPrePRE e, portanto, torna-se realmente periódica a monitoração de parâmetros operacionais do equipamento.

#### **3.2.1 A manutenção na Marinha dos EUA**

No caso da marinha dos EUA, de acordo com Jones (2007, p. 1.3 a 1.5), a evolução da manutenção se deu da seguinte forma:

- *Sistemas Mecânicos Simples* - Até a década de 1930, os sistemas e equipamentos militares eram tipicamente mecânicos e de simples concepção.

➤ *Salto Tecnológicos Forçados* - Com o advento da Segunda Guerra Mundial (IIGM), os saltos tecnológicos forçados levaram muitos protótipos para as frentes de batalha. Mesmo os que tiveram sucesso em combate trouxeram vários problemas para os operadores, pois os projetos eram focados somente no desempenho dos sistemas e traziam embutidas as dificuldades para mantê-los em funcionamento, tais como: falta de sobressalentes; manuais de operação e de manutenção inadequados; equipamentos de teste e ferramentas inapropriadas; adestramento insuficiente para os operadores; e qualificação inadequada dos mantenedores.

➤ *Centros de Excelência* - Após a IIGM, verificou-se a necessidade de estruturar o sistema de apoio para torná-lo mais eficiente e menos dispendioso. Foram então criados vários centros de excelência para abranger as principais atividades de apoio: planejamento da operação e manutenção; pessoal de bordo capacitado e mão de obra qualificada; apoio de suprimentos; documentação técnica; adestramento; manutenção e equipamentos de teste; instalações (de apoio); e embalagem, manuseio, armazenagem e transporte.

➤ *Apoio Logístico Integrado* - Os Centros de Excelência funcionaram bem por um tempo, mas não atingiram o efeito sinérgico desejado, demonstrando falta de coordenação (cada centro fazia o melhor que podia, mas o resultado final não aparecia de forma satisfatória). Assim, em 1965, esses centros de excelência foram integrados, por meio da criação de uma abordagem chamada de Apoio Logístico Integrado (ALI ou ILS, em inglês), com o propósito de: influenciar as decisões de projeto para facilitar o apoio; identificar os principais componentes do custo; identificar e desenvolver recursos de apoio; e obter o menor “*custo do ciclo*”

*de vida*<sup>27</sup>”. Para tal, tinha as tarefas de participar dos processos de desenvolvimento ou de escolha do projeto de um produto e planejar e desenvolver o sistema de apoio para o produto. Devido ao foco das marinhas militares estar voltado à operação de sistemas, e não à aquisição, o processo de implantação do apoio logístico era sempre feito após o produto projetado e adquirido. Assim, a aceleração do desenvolvimento tecnológico dos sistemas militares na década de 70 tornou o ALI insuficiente para atender às necessidades de apoio. A Defesa dos EUA foi, então, em busca do mercado civil, que já estava enfrentando o mesmo problema para atender aos consumidores.

➤ *Análise de Apoio Logístico* - Então, a partir de 1984, os militares dos EUA estabeleceram uma nova metodologia, chamada de Análise de Apoio Logístico (AAL - LSA, em inglês), que incorporava ao ALI as “melhores práticas” identificadas no mercado civil.

➤ *Engenharia de Apoiabilidade*<sup>28</sup> – A evolução do AAL foi a base da criação do ramo da engenharia, chamada de Engenharia de Apoiabilidade (EA, em inglês “Supportability Engineering” - SE), que divide a logística de aquisição em duas fases: *Modernização Logística* (“*Functional logistics*”) – participação na evolução do projeto para assegurar que ele tenha características as quais irão permitir um apoio efetivo por um custo de posse razoável; e *Logística de Campo* (“*Physical logistics*”) – identificação, obtenção e envio do pacote de recursos necessários ao apoio de um sistema em seu ambiente operacional.

---

<sup>27</sup> Compreende a soma de todos os custos: de desenvolvimento ou seleção, de aquisição, de manutenção, de operação, de alienação, etc., até a baixa final do equipamento ou sistema ou meio.

<sup>28</sup> **Apoio:** O ato físico de habilitar e manter um item atendendo a um determinado propósito (manutenção – preventiva; e reparo - corretiva); e **Apoiabilidade:** apesar desta palavra não constar do dicionário da língua portuguesa, ele é empregado na área de manutenção em tradução ao termo “Supportability”. O significado é previsão ou medição das características de um item que facilitem a capacidade de apoiá-lo e mantê-lo cumprindo sua função, dentro de um ambiente e de um perfil de uso predeterminados.

Assim, a evolução do sistema de manutenção na marinha dos EUA levou a um processo de manutenção conhecido como EA, focado no projeto e desenvolvimento de produtos. Esta evolução foi selecionada, pois pode ser considerada como representativa do que ocorreu tanto nas indústrias como nas marinhas de vários países desenvolvidos no mundo.

Entretanto, cabe ressaltar que, independentemente do sistema de manutenção ser o ALI, AAL ou EA, a base destes e outros sistemas, modernos ou não, estará calcada na forma de aplicação da manutenção (corretiva, periódica ou preditiva), definida, por exemplo, como sugere o fluxograma da figura 5. A implantação destas técnicas de manutenção é que realmente servirão de base para a implantação de um sistema de manutenção pleno e sua evolução, por exemplo, de um SMP para o ALI e posteriormente até EA.

### ***3.2.2 A garantia de qualidade da manutenção na Armada Chilena***

A partir de 2005, com base no intercâmbio técnico efetuado entre a MB e a Armada do Chile (AC) na área de manutenção, foram feitas visitas técnicas às instalações e estruturas daquela marinha por pessoal da MB<sup>29</sup>. Um dos objetivos das visitas foi verificar qual era a sistemática utilizada pela Armada chilena para execução da manutenção em todos os escalões e como se relacionavam entre si tais escalões, além de tomar conhecimento amíúde de como eram utilizadas as técnicas de MPrePRE.

Através do evento nº A-053, da Portaria nº 219/EMA/2005, do Estado-Maior da Armada, foi aprovado o programa de “Intercâmbio com a *Dirección de Ingeniería y Sistemas Navales* (DirISNav) da AC na área de manutenção preditiva”, entre a DGMM (representada pelo CPN) e a DirISNav.

---

<sup>29</sup> O autor participou dessas visitas técnicas como representante do Centro de Projetos de Navios (CPN).

A visita inicial à AC, feita pelo autor no período de 02 a 06 de outubro de 2006, apresentou uma avaliação técnica, expressa em relatório de representante<sup>30</sup>, contendo a seguinte questão relevante:

“A DirISNav e a ‘Inspección da Dirección de Ingeniería y Sistemas Navales In Talcahuano’ (IDISTalc) apresentam, no tocante á manutenção preditiva por medição e análise de vibração, grande nível de organização, com normas, procedimentos, qualificação e responsabilidades bem definidas e conhecidas, principalmente com o uso de Inspetorias Técnicas, diferente do que ocorre com a Marinha do Brasil, que não tem tais parâmetros definidos em normas ou procedimentos para a aplicação em navios e submarinos da marinha”.

Nessa visita técnica foi verificado que o sistema de garantia de qualidade, utilizando análise de vibração e outros parâmetros, antes e depois dos períodos de manutenção dos navios e submarinos da AC, funciona de forma adequada, porque existem Inspetorias da Diretoria de Engenharia (IDISTalc, por exemplo) dentro das bases e estaleiros, que medem e analisam tais parâmetros em qualquer tipo e tamanho de obra. Cabe lembrar que este tipo de estrutura fiscaliza de forma adequada e permanente os reparos e manutenções realizadas pelas bases e estaleiros.

Como conclusão esse relatório de representante sugeriu:

“Manter canais de comunicação entre as Direções Técnicas de ambas as Marinhas, visando transferir informações detalhadas relativas à organização e gerenciamento da manutenção preditiva na armada chilena e a utilização das inspetorias técnicas nos estaleiros e centros de reparos”.

Com base nesse relatório, o DGMM emitiu Portaria 32 (2007)<sup>31</sup> em que criava um Grupo de Trabalho (GT), composto por representantes do DGMM, AMRJ, DEN e CPN, que tinha como missão: “Avaliar se os procedimentos empregados pela AC na Organização e Gerenciamento da Manutenção Preditiva são passíveis de aplicação pelas OMPS, e propor as medidas necessárias para sua implementação na MB, se pertinente”. Este GT se reuniu

---

<sup>30</sup> BRASIL. Centro de Projetos de Navios, Marinha do Brasil. **RLT-073-NRL-034 – Intercâmbio com a Armada Chilena – Área de Manutenção Preditiva – Relatório de Representante**. Rio de Janeiro, Nov. 2006.

<sup>31</sup> BRASIL. Diretoria Geral de Material da Marinha. **Portaria 32/2007**. Rio de Janeiro, 20 mar. 2007.

durante cerca de dois meses, emitindo um Relatório<sup>32</sup> (no Anexo A) em maio de 2007, no qual concluiu que a MPrePRE poderia trazer grandes benefícios aos meios navais da MB, no sentido de aumentar a confiabilidade no funcionamento e reduzir os custos em reparos e indisponibilidade de equipamentos.

O relatório deste GT sugeriu diversas modificações na estrutura da MB no sentido de incorporar tais pressupostos, tendo sido apresentadas as seguintes sugestões:

- Os procedimentos empregados pela AC na organização e gerenciamento da manutenção preditiva poderão ser aplicados na MB com algumas adaptações, desde que sejam tomadas medidas para investimento, organização e gerenciamento em determinadas áreas;
- Para implantar um Sistema de Gerenciamento da Manutenção Preditiva, com ênfase inicialmente na análise de vibração, oferecendo o mínimo de modificações na estrutura atual da MB, as seguintes medidas foram propostas:

i) Organograma de Subordinação Técnica:

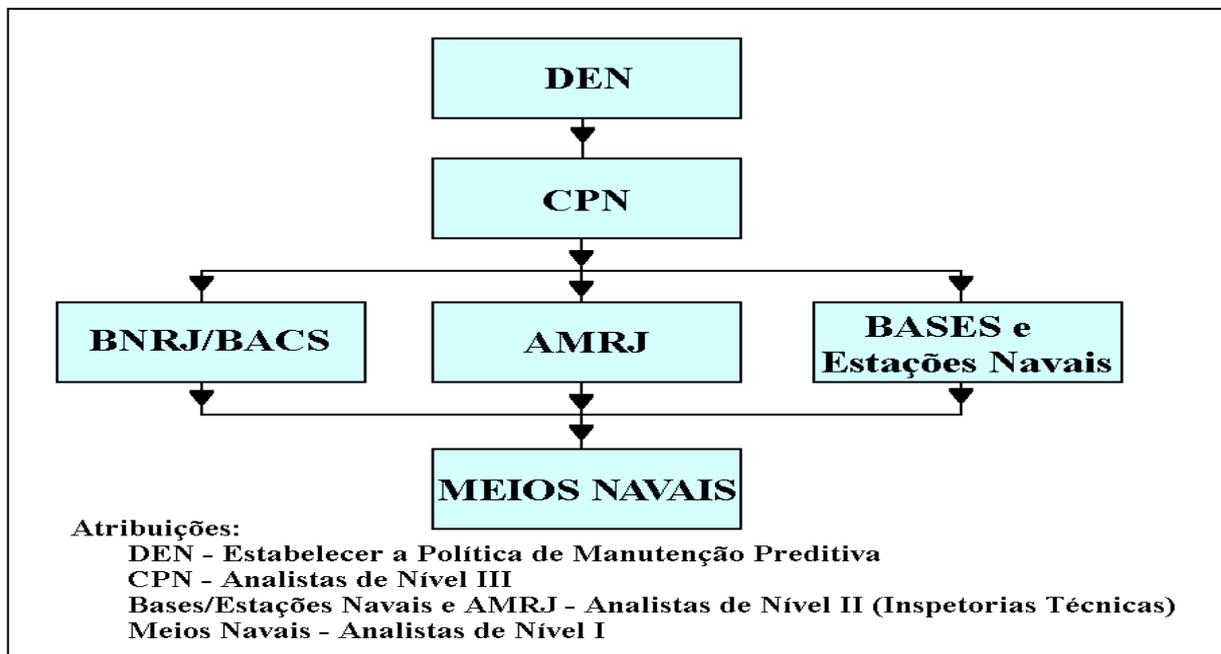


Figura 6 – Organograma de Subordinação Técnica de acordo com o GT do DGMM.  
 Fonte: Extraída no Relatório do GT.

<sup>32</sup> BRASIL. Diretoria Geral de Material da Marinha. **Relatório do Grupo de Trabalho – Manutenção Preditiva**. Rio de Janeiro, 10 maio 2007.

- ii) Estabelecer normas e procedimentos para a Manutenção Preditiva – DEN;
- iii) Efetuar adaptações necessárias nas rotinas de SMP – DEN;
- iv) Especificar/elaborar cursos de qualificação e treinamento de pessoal nos três níveis – DEN/CPN;
- v) Estabelecer divisões ou seções nos Departamentos Industriais das Bases/Estações Navais e AMRJ com serviço dedicado à manutenção preditiva (Inspetoria Técnica) – Bases/Estações Navais e AMRJ;
- vi) Especificar e quantificar equipamentos de medição e “software” para cada um dos três níveis – CPN;
- vii) Estabelecer quantitativo de pessoal especializado para cada um dos três níveis – DEN/CPN.

Posteriormente em 2007, através do evento nº A-013, da Portaria nº 203/EMA/2007, do EMA, foi proposto “aprofundar o intercâmbio com a DirISNav da AC na área de manutenção preditiva, iniciado em visita realizada de 02 a 06 de outubro de 2006”.

A segunda visita à AC, feita também pelo autor no período de 18 a 22 de agosto de 2008, apresentou uma avaliação técnica, expressa em relatório de representante<sup>33</sup>, com a seguinte questão relevante:

“a DirISNav, assim como suas inspetorias técnicas apresentam na área de manutenção preditiva por medição e análise de vibração, como já observado na visita anterior, grande nível de organização, com normas, procedimentos, qualificação e responsabilidades bem definidas e conhecidas, principalmente com o uso de Inspetorias Técnicas. Entretanto, cabe ressaltar que, durante a visita técnica de 2008, foram detalhados alguns destes níveis de organização, ressaltando-se: a) Os programas de treinamento e qualificação do pessoal técnico envolvido na medição e análise de vibração, tanto de navios e bases como das inspetorias e da própria DirISNav; e b) Os Procedimentos para aprovação e garantia de qualidade de equipamentos e sistemas com relação aos níveis de vibração medidos por navios, bases e estaleiros e inspetorias.”

<sup>33</sup> BRASIL. Centro de Projetos de Navios, Marinha do Brasil. **RLT-073-NRL-048 – Relatório de Representante - Intercâmbio com a Armada do Chile na área de Manutenção Preditiva** -. Rio de Janeiro, Ago 2008.

Desta forma, a nova visita, em 2008, permitiu não só elucidar dúvidas de interpretação dos conhecimentos obtidos na primeira visita em 2006, quanto aos limites e normas de vibração empregados na MPrePRE de diversos equipamentos e sistemas, mas também foram obtidas informações sobre dois tópicos muito importantes:

➤ *Programas e cursos de treinamento e qualificação do pessoal técnico*: para medição e análise de vibração, tanto de navios e bases como das inspetorias e da própria DirISNav. Os programas dos cursos realizados em convênio com a Universidade de Concepción-Chile (anexos ao relatório de representante e incluídos nos Anexos F a I deste trabalho) poderão ser utilizados na organização de cursos similares a serem ministrados no Brasil;

➤ *Procedimentos com atribuições das organizações (navios, bases, estaleiros e OM Técnicas)*: envolvidas na construção, condução, manutenção e fiscalização de equipamentos e sistemas de navios e submarinos, com relação à manutenção preditiva pela análise de vibração e outros parâmetros. As informações obtidas permitiram elaborar um resumo de tais atribuições, níveis de qualificação e subordinações entre outros dados (Anexo B deste trabalho), que poderão servir para orientar a elaboração dos próprios procedimentos e normas a serem empregados na MB.

Como conclusão esse novo relatório de representante sugeriu:

- “a) Os programas e cursos de treinamento e qualificação do pessoal técnico envolvido na medição e análise de vibração, tanto de navios e bases como das inspetorias e da própria DirISNav, poderão servir de exemplo para que possamos implantar algo semelhante aqui no Brasil, em convênio com universidades ou com a utilização de organizações de ensino ou centros de instrução da própria MB;
- b) A organização da AC, com respeito aos aspectos de gerenciamento da política de manutenção preditiva, atribui funções e responsabilidades as diversas organizações envolvidas nos processos de operação, manutenção, modernização e construção de navios e submarinos. Tal organização poderá servir de exemplo para a implantação de um sistema de gerenciamento semelhante na MB. Sugere-se que a implantação deste sistema de gerenciamento da manutenção preditiva na MB, seja iniciado pela DEN com a criação de procedimentos e normas, atribuindo funções e responsabilidades aos navios e submarinos, bases, estaleiros e Diretorias técnicas. Inclusive a própria DEN utilizando-se de Inspetorias técnicas como braço executor

de suas ações de fiscalização e garantia da qualidade de construções, modernizações e manutenções, pela análise de parâmetros operativos de equipamentos e sistemas. Inicialmente poderá ser criada uma pequena inspetoria técnica da região do 1º DN, apenas realizando análise de vibração e posteriormente implantados gradativamente outros parâmetros operativos como pressão temperatura, análise de óleo, etc.).”

Assim, apesar de os relatórios de representante de ambas as visitas (2006 e 2008) e do próprio relatório do GT criado pelo DGMM sugerirem àquele Órgão de Direção Setorial a implantação de estrutura e sistemática na MB, similar àquela encontrada na estrutura da AC com relação às técnicas de MPrePRE, ainda não foram tomadas ações que levem efetivamente a tal implantação.

## **4 A MANUTENÇÃO EM USO NA MARINHA**

Como já exposto superficialmente, a manutenção na MB vem evoluindo de forma lenta e defasada quando comparada ao que ocorreu nos países mais desenvolvidos e até no próprio meio privado brasileiro. Assim, para que se possa compreender melhor a manutenção atualmente em uso na Marinha, é importante tecermos, num breve histórico, a evolução da manutenção na MB. Desta forma será possível compararmos a evolução da manutenção na MB com as que ocorrem nas marinhas mais desenvolvidas (já apresentadas nos itens 2.1, 3.1 e 3.2).

### **4.1 Breve histórico**

Antes da década de 1970 não havia na MB um “sistema” de manutenção propriamente dito, mas sim ações de manutenção, que compreendiam intervenções corretivas após falhas, e intervenções preventivas baseadas, não em períodos de tempo ou horas de funcionamento, mas na identificação de sintomas detectados por monitoração subjetiva (acompanhamento feito pelo próprio condutor, utilizando os sentidos do tato, olfato, audição e visão com o apoio ou não de uma “monitoração simples<sup>34</sup>” de temperaturas ou pressões por exemplo). Cabe esclarecer que os navios e submarinos tinham períodos de manutenção programados, quando se faziam reparos maiores, à maneira como são atualmente os Períodos de Manutenção Geral (PMG). Porém, naquela época, nos casos em que uma necessidade de reparo não fosse evidente, a decisão de quais equipamentos sofreriam manutenção e em que

---

<sup>34</sup> Manutenção Simples é caracterizada pelo acompanhamento visual de: temperaturas em mancais ou fluídos indicadas por termômetros fixos aos pontos de medição; e pressões de fluídos de redes ou sistemas indicadas por manômetros fixos aos pontos de medição.

profundidade, durante esses períodos de manutenção programados, era exclusivamente definida pela avaliação subjetiva de operadores e técnicos e por inspeções com desmontagens parciais dos equipamentos.

Com o projeto e construção das Fragatas Classe Niterói (FCN) na década de 1970 (projeto de origem inglesa), foi então introduzido na MB o Sistema de Manutenção Planejada (SMP), que é utilizado até os dias de hoje, tanto nas FCN como nas Corvetas Classe Inhaúma (CCI) e muitos outros navios da MB. Esse sistema é baseado na MPrePer, ou seja, a cada período de tempo programado (predeterminado), horário ou calendário, são feitas manutenções parciais ou gerais nos equipamentos e sistemas, com inspeções, verificações, ajustes e troca de uma infinidade de sobressalentes, peças e itens. Apesar da existência, nesses navios, de Sistemas de Monitoração automáticos, a monitoração simples de temperaturas e pressões feitas por sensores fixos ou não aos sistemas não caracteriza uma MPrePRE plena, já que as informações fornecidas por tais sensores visam a auxiliar os operadores dos sistemas na sua condução, não estando portanto ligadas a ações de manutenção, servindo no máximo como apoio nas ações de monitoração preditiva subjetiva dos operadores. Assim, a maioria das trocas e substituições que ocorrem na MPrePer não está condicionada à comprovação da real necessidade, mas somente ao número de horas de operação ou, ainda pior, ao tempo do calendário, que é o tempo cronológico desde a última substituição, independente do número real de horas de operação.

A partir da década de 1990, as aquisições de “navios de segunda mão”<sup>35</sup>, de origem inglesa e estadunidense, trouxeram para a MB alguns conceitos e técnicas de MPrePRE incorporados nas rotinas e procedimentos de manutenção desses navios. A partir de então, as tripulações da MB nesses navios passaram a ter que lidar com tais conceitos. Os sistemas de manutenção recebidos com alguns desses navios foram então modificados ou

---

<sup>35</sup> Na década de 1990 os navios ingleses FCG, e os navios estadunidenses CTCP e posteriormente, na década de 2000, os NDCC ingleses Classe Garcia D’Avila.

complementados de modo que, em todo ou em parte, seus sistemas fossem apoiados pelo SMP já existente na MB, sem contudo mudar as rotinas de manutenção originais que contêm técnicas de MPrePRE.

Por outro lado, como já comentado, desde o final da década de 1980, a DEN e posteriormente, o CPN, vêm realizando medições de vibração e ruído (transmitido pela estrutura) de equipamentos dos navios e dos submarinos da MB. Essas medições, com diversas aplicações na área de “*avaliação de engenharia*” de projetos de meios, entre eles, CCI, Submarinos Classe Tupi (SCT) e Navios Patrulhas Classe Grajaú (NPCG), também apresentam, como um subproduto, laudos técnicos de MPrePRE com o uso da técnica de análise de vibração nos equipamentos de tais meios. Os navios e submarinos, ao utilizarem estes laudos técnicos como apoio a MPrePer existente, passaram a perceber, na prática, que a manutenção se tornava mais confiável e de menor custo e, com isso, aumentando a disponibilização dos equipamentos e sistemas. Esse tipo de sistemática de utilização de laudos técnicos de MPrePRE em adição aos procedimentos de MPrePer previstos, começou de forma bem incipiente, mas acabou se tornando uma rotina, sendo que praticamente todos os navios da MB, inclusive os que estão fora da área Rio, atualmente solicitam tais medições de vibração. Essas solicitações buscam basicamente três perspectivas de avaliação: a) como apoio de MPrePRE à MPrePer ainda vigente, antes dos PMG; b) como “garantia de qualidade” após os PMG, relativo às manutenções e obras feitas por bases, estaleiros ou empresas contratadas, nos equipamentos do navio; e c) como avaliação eventual de MPrePRE, quando existe suspeita (subjativa) de que equipamentos ou sistemas estão apresentando degradação de suas condições. No ano de 2010 o CPN emitiu laudo técnico com base na análise de níveis de vibração para mais de 600 equipamentos, de cerca de 30 navios em 10 bases no Brasil e no exterior. Cerca de 10% destes equipamentos apresentaram laudo técnico com indicação de degradações significativas e com recomendação de manutenção

imediate ou limitações de uso até a inspeção e manutenção propriamente dita. O gráfico da figura 7, a seguir, baseado em dados obtidos por procedimento<sup>36</sup> de medição de vibração do sistema de Gestão da Qualidade do CPN, mostra claramente o aumento gradativo de tais medições nos últimos 12 anos.

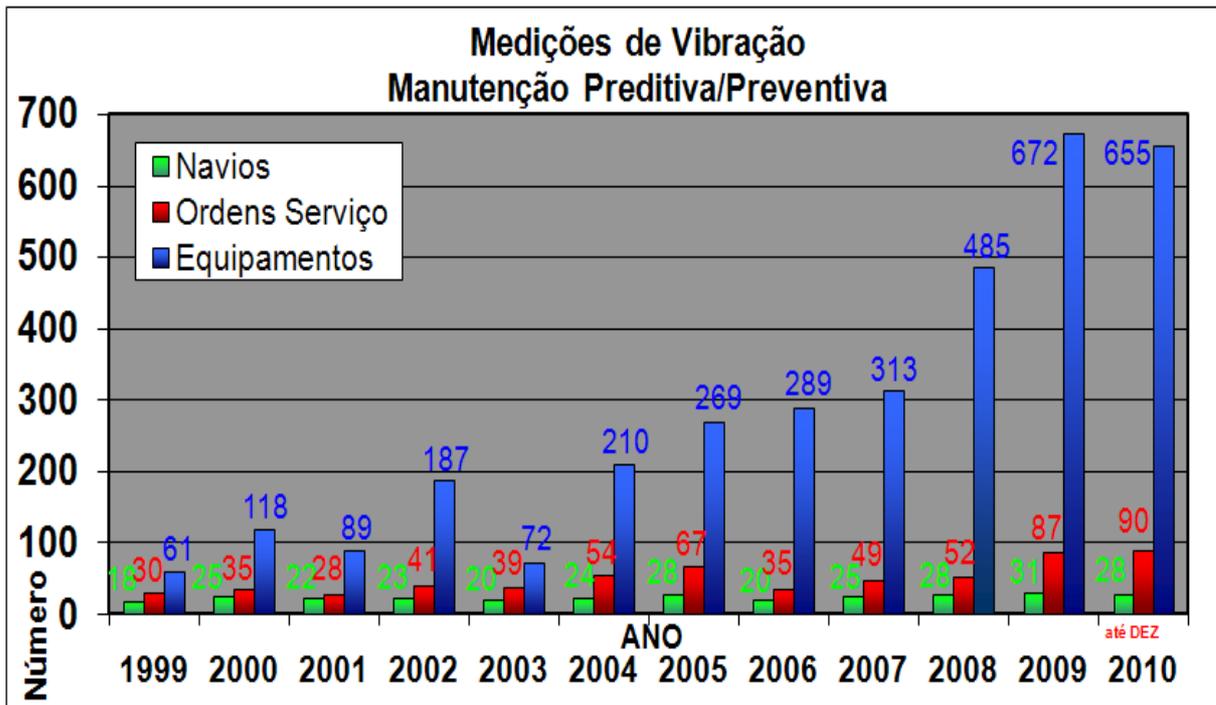


Figura 7 – Medições e Laudos Técnicos de Vibração - MPrePRE

Fonte: Baseada em dados do procedimento 840/0-SGQ-090-011 do CPN.

Entretanto, apesar das técnicas de MPrePRE serem empregadas de forma plena em praticamente todos os sistemas de manutenção, há quase duas décadas nos países desenvolvidos e há pelo menos uma década na indústria naval brasileira, a MB ainda utiliza a MPrePer na maioria de seus navios. Mesmo nos casos dos navios adquiridos de segunda mão de outras marinhas (EUA e Inglaterra citados anteriormente) em que o sistema de manutenção oriundo do país origem tinha incorporado a MPrePRE, esse tipo de técnica<sup>37</sup> foi aos poucos

<sup>36</sup> 840/0-SGQ-090-011 - “Medição e Análise de Vibração de Equipamentos Visando sua Manutenção Preditiva”- 23MAIO2007 – CPN – MB.

<sup>37</sup> Alguns navios, como a Fragata Greenhalgh, adquirida da Inglaterra em 1996, ainda aplicam as rotinas mensais de medição de vibração que vieram junto com o navio (vide Anexos D e E). Entretanto as Fragatas Bosísio e Hademaker (da mesma classe que a primeira) pararam de utilizar tal sistemática, pois seus coletores de vibração estão obsoletos e avariados. No caso da Fragata Greenhalgh, a instrumentação original ficou também obsoleta e avariada, entretanto foi adquirido um novo medidor de vibração como apresentado no Apêndice D.

abandonado quase que totalmente em função de quatro fatores: obsolescência e avarias da instrumentação de medição; falta de integração da documentação/procedimentos de regulamentação originais com a normatização da MB; falta de uma melhor organização nas atribuições técnicas e num melhor detalhamento da normatização da MB, com relação às técnicas de MPrePRE; e a perda da qualificação dos técnicos de bordo pela rotatividade da tripulação em diversos setores da MB.

#### **4.2 Tentativas de Implantação de Técnicas de Manutenção Preventiva Preditiva**

A partir do início dos anos 1990, através do Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha (PDCTM), a DEN propôs, entre outros, o Plano Específico de Desenvolvimento (PLED) 2-02-03 (Manutenção por Diagnose). Este plano tinha por objetivo a implantação da MPrePRE em complementação a MPrePer existente no SMP em uso. Apesar de muito bem estruturado e revisado por 2-3 anos, o plano não teve nenhuma de suas fases efetivamente implementada, principalmente por falta de aporte de recursos.

Posteriormente, em 1996 o Ministro da Marinha (MM), procurando integrar a MPrePRE ao SMP, emitiu o Memorando 17<sup>38</sup>, que determinava a revisão completa e criteriosa das rotinas do SMP, instruindo e detalhando a implantação da manutenção MPrePRE na MB em adição a MPrePer existente na maioria dos meios navais. Este memorando determinava a imediata suspensão de troca de componentes e peças de equipamentos sob a ótica da MPrePer, que era calendárica ou horária, somente autorizando casos específicos que seriam previamente definidos pelo DGMM.

---

<sup>38</sup> BRASIL. Ministro da Marinha. **Memorando 17/1996**. Brasília, jul. 1996.

Para tornar viável tal mudança de sistemática, o DGMM, emitiu o Memorando 11<sup>39</sup> que determinou a constituição de um GT para:

- rever as rotinas de SMP com a participação e experiência do setor operativo, emitindo nova documentação do SMP considerando o uso de técnicas de MPrePRE;
- implantar sistemas pilotos com técnicas de MPrePRE; e
- reestruturar as dotações de sobressalentes considerando o resultado das ações anteriores.

Apesar das reuniões e análises realizadas pelo GT no período de 1997 e 1998, não foram feitas as alterações necessárias nas rotinas do SMP visando a implantar a MprePre, em vista do grande volume de trabalho e da pouca disponibilidade de mão de obra.

Contudo, três sistemas pilotos de MPrePRE, chamados de: ATEMEDI; LUBE; e SAVMAQ foram desenvolvidos e implantados pela DEN e CPN em navios pilotos<sup>40</sup>, tendo a DEN elaborado as normas Engenalmarinst 16-04 , 16-05 e 16-06<sup>41</sup>, que regulamentavam tais iniciativas. Tais normas, além de regulamentarem os procedimentos de MPrePRE, também definiam as atribuições e responsabilidades das Organizações Militares (OM) tais como DEN, AMRJ, CPN, CASOp e navios. Esses sistemas pilotos tinham as seguintes características:

- **ATENDI** – Sistema de Análise de **TEN**dência de Motores **DI**esel . Sistema especialista para análise de parâmetros (temperaturas e pressões) de operação de motores diesel. A coleta de dados desse sistema é feita periodicamente. O sistema ATENDI foi espelhado no sistema ADETA (**A**utomated **D**iesel **E**ngine **T**rend **A**nalysis), que veio junto com os CTCP;

<sup>39</sup> BRASIL. Diretoria Geral de Material da Marinha. **Memorando 11/1996**. Rio de Janeiro, ago.1996.

<sup>40</sup> Os navios pilotos foram as seis FCN e as quatro CCI, pois tais navios, além de relativamente modernos, já tinham MPrePer com base no SMP.

<sup>41</sup> Normatização da DEN - Manutenção Preditiva – para os sistemas pilotos ATENDI, LUBE e SAVMAQ.

➤ **LUBE** – Sistema de análise químico/metálico de Óleo **LUB**rificant**E** (OL) de motores diesel, realizada sobre amostra de OL a cada período de horas de operação préestabelecido, identificando os processos de degradação de seus componentes pela análise de viscosidade, oxidação, nitração, ponto de fulgor, presença de água e análise espectrométricas de partículas metálicas, entre outras. Este sistema foi desenvolvido também a partir de um sistema chamado JOAP (“Joint Oil Analysis Program”), que a MB tinha instalado nos CTCP, quando da aquisição desses navios;

➤ **SAVMAQ** – Sistema de Análise de Vibração de **MAQ**uinas rotativas. Esse sistema não foi desenvolvido a partir de sistemas adquiridos junto com navios, mas sim por meio da capacitação técnica atingida pelo corpo técnico da DEN na área de medição e análise de vibração a partir da década de 1990, pois, como já citado anteriormente, a DEN (e posteriormente o CPN, com a transferência, em maio/1997, da “Divisão de Choque, Vibração e Ruído” daquele para esse), realizava medições de vibração e ruído de equipamentos dos navios e submarinos da MB, visando à *avaliação de engenharia* de projetos de meios, mas que também produzia laudos técnicos de MPrePRE baseados na técnica de análise de vibração nos equipamentos de tais meios.

Todos esses sistemas pilotos foram implantados a partir de 1997, produzindo resultados até 2000. Entretanto, eles foram aos poucos deixando de ser utilizados pelos navios pilotos por diversas razões, dentre as quais pode-se destacar:

➤ Abandono, após 1998, do gerenciamento da manutenção (visando a MPrePRE) pela DGMM com as OM envolvidas;

➤ Falta de coordenação e subordinação técnica das OM com relação ao Sistema de Manutenção (visando a MPrePRE);

- Avarias e obsolescência dos sistemas empregados (software e hardware - programas, instrumentação e “laptops”) por falta de recursos para manutenção e desenvolvimento/aperfeiçoamento destes;
- Falta de procedimentos detalhados de MPrePRE no nível operativo (alteração das rotinas do SMP); e
- Falta de cursos regulares para treinamento, qualificação e motivação de praças e oficiais para utilização e gerenciamento dos sistemas no nível de 1º escalão<sup>42</sup>;

Outra tentativa de implantação da MPrePRE na MB foi através do intercâmbio da MB com a AC na área de MPrePRE no período 2006 a 2008. Como já relatado no item 3.3, foi identificado que a AC utilizava técnicas de MPrePRE, tanto para subsidiar a manutenção como para fazer a garantia de qualidade destas manutenções e de construções e modificações. Foi então sugerido ao DGMM, através de relatório de GT, a adoção de linhas de ação (item 3.2.2), visando a implantar a MPrePRE no SMP da MB, ainda não realizadas.

### **4.3 Procedimentos de manutenção em uso**

Apesar da DEN ter emitido, em 1998, as Engenalmarinst 16-04, 16-05 e 16-06, em atendimento aos Memorandos 17 do MM e 11 do DGMM de 1996, como já relatado anteriormente, somente com a revisão da norma EMA-420 em 2002, no capítulo 3, foi oficialmente introduzido o conceito de MPrePRE na normatização geral da manutenção da MB. De acordo com esta nova normatização:

“O Sistema de Manutenção Planejada (SMP) é constituído pela reunião das ações de manutenção planejada preventiva e preditiva, em uma coletânea de rotinas programadas, que obedece a um método racional de planejamento, execução e controle”. (EMA-420 item 3.4.4)

---

<sup>42</sup> Diz-se da manutenção realizada diretamente pela própria tripulação dos navios e submarinos.

Também no EMA-420 (item 3.4.1) foram definidos os tipos de manutenção a serem empregados nos meios navais (Preventiva, Preditiva, Corretiva e Modificadora), como já citado (p. 25).

Por outro lado o EMA-400, no seu item 4.3.3.b, estabelece que a MPrePRE deve ser complementar à MPrePer, fazendo com que a periodicidade seja de monitoração de parâmetros e não de substituição automática de itens, como também já citado (p. 25).

Com essa revisão da normatização se pretendia uma manutenção de navios e submarinos ainda de forma preventiva periódica, porém apoiada por ações preventivas preditivas. Nessa época os sistemas piloto do ATENDI, LUBE e SAVMAQ já não estavam mais operativos pelos diversos problemas relatados anteriormente.

Contudo, apenas a citação, nos EMA-400 e EMA-420, de que o SMP deveria ser constituído de ações preditivas em apoio às periódicas, não foi suficiente para tornar a MPrePRE uma coadjuvante real e prática no apoio a MPrePer existente, pois faltaram ações nos níveis operativo, logístico e de formação, qualificação e treinamento, entre outros, como por exemplo: alteração de rotinas e procedimentos de manutenção de equipamentos e sistemas de navios e submarinos da MB, para englobar essa nova sistemática; e criação de cursos de formação para condutores e mantenedores dos equipamentos e sistemas, visando a qualificação nas ações de manutenção preditiva por análise de vibração e outros parâmetros.

De acordo com informações obtidas em entrevista com Sousa<sup>43</sup>(Apêndice C), a DEN alterou, em 2008, por determinação da DGMM, as rotinas de manutenção dos equipamentos do Navio Escola Brasil (NE), introduzindo finalmente os conceitos de MPrePRE. Como exemplo dessas alterações é apresentado, no Anexo C, o cartão de manutenção de 1º Escalão (manutenção feita pelo pessoal de bordo) dos Grupos Diesel- Geradores deste navio, em que está prevista a medição, registro e análise dos níveis globais de

---

<sup>43</sup> O Engenheiro de Tecnologia Militar Manoel CELESTINO Tavares de Sousa é o encarregado da Divisão de Sistemas de Manutenção Planejada (SMP) da DEN e possui mais de 20 anos de experiência na área;

vibração. Porém, essa alteração nas rotinas ainda não foi suficiente para que tal sistemática fosse realmente implementada, visto que, entre outras coisas, faltaram ações de: gerenciamento desta nova forma de abordagem da manutenção no nível da DGMM, tal como a coordenação entre as OM envolvidas (Navios, Forças e Bases, DEN, CPN e CASOp); e estruturação de cursos de qualificação e treinamento na Escola Naval (EsNa), no Centro de Instrução Almirante Wandenkolk (CIAW), no Centro de Instrução Almirante Alexandrino (CIAA) e na Escola de Aprendizes-Marinheiros (EAM), por exemplo, para oficiais e praças visando a aplicação desta nova sistemática de MPrePRE.

Ainda de acordo com aquele ETM da DEN, em todos os demais navios da MB, à exceção das FCG dos CTCP e NDCC Classe Garcia D'Avila, que vieram com alguma MPrePRE incorporada em suas rotinas de manutenção, ainda não foram feitas as alterações nas rotinas de manutenção para contemplar a MPrePRE, estando ainda, na grande maioria dos navios, sua documentação de manutenção baseada exclusivamente na MPrePer.

Nas FCG e nos CTCP e NDCC Classe Garcia D'Avila a documentação de manutenção é aquela originalmente utilizada pelos ingleses ou estadunidenses, possuindo conceitos de MPrePRE incorporados<sup>44</sup>, mas que não têm sido aplicados de forma completa, já que a instrumentação<sup>45</sup> e os sensores utilizados estão obsoletos ou avariados e/ou os operadores não se encontram treinados e qualificados.

O que vem ocorrendo na grande maioria dos navios da MB são ações de medição e análise de níveis de vibração, feitas pelo CPN (apoio técnico), enquanto em alguns poucos navios isso é feito pela tripulação, que possui instrumentação de vibração adquirida por orientação do CPN.

---

<sup>44</sup> Como exemplo desse conceito, tem-se no Anexo D o Cartão de Manutenção (1º Escalão) para medição de vibração da Bomba de Incêndio das FCG.

<sup>45</sup> A instrumentação original para medição de vibração das FCG está adicionada no Anexo E.

Assim, em praticamente todos os navios da MB é utilizada a MPrePer apoiada de forma não sistêmica e incompleta por uma MPrePRE, cujo diagnóstico de estado é executado quase sempre pelo CPN. Esta sistemática não é, na grande maioria das vezes, respaldada por rotinas de manutenção dos equipamentos e sistemas dos navios, ou seja, a MPrePRE é realizada por interesse do navio, que solicita apoio diretamente ao CPN, em vista da confiabilidade de tal técnica, observada pelas tripulações desses navios ao longo de mais de 15 anos de apoio daquele Centro. Entretanto, a MPrePRE apresentaria resultados muito mais satisfatórios em relação à economia de recursos empregados na manutenção, bem como na disponibilização e confiabilidade dos equipamentos e sistemas, se fosse aplicada de forma plena e sistemática.

Dessa forma, observa-se que, apesar se ter uma normatização geral do EMA e da DEN que contempla a manutenção preditiva em apoio à periódica, não há, na prática, uma sistematização das técnicas de MPrePRE, nem um gerenciamento a semelhança do apresentado na figura 6.

## **5 ATUALIZAÇÃO DA ABORDAGEM DA MANUTENÇÃO NA MARINHA**

O sistema de manutenção da MB continua sendo preponderantemente fundamentado na MPrePer, pelos motivos descritos no capítulo anterior, apesar da normatização da MB (EMA-400 e EMA-420, Engenalmarinst16-04, 16-05 e 16-06) já haver previsto o uso da MPrePRE há quase uma década.

As tentativas de implantação da MPrePRE realizadas em 1997-2001 com os sistemas ATENDI, LUBE e SAVMAQ, em 2006-2008 com o intercâmbio com a AC e o GT do DGMM e em 2008 com a alteração das rotinas de manutenção do NE Brasil não foram permanentemente vitoriosas, pois não tiveram ações de caráter logístico, estratégico e financeiro, como relatado.

As ações de MPrePRE realizadas pelo CPN com medições e análises de vibração e emissão de laudos técnicos em apoio a MPrePer existente, assim como algumas medições de vibração e outras técnicas preditivas realizadas por uns poucos navios da MB, não caracterizam uma MPrePRE plena, eficiente e sistemática e desta forma não poderão levar a uma otimização com relação à minimização de custos e maximização da confiabilidade e disponibilização de equipamentos e sistemas.

Fica evidente que a adoção de técnicas de MPrePRE em sistemas que já possuem uma MPrePer irá trazer inúmeras vantagens como a redução de custos de manutenção e de paradas por falha ou quebra, entre outras. Mobley (2002) ao analisar 500 empresas dos EUA que implantaram um programa de MPrePRE, integrado a um sistema de MPrePer já existente, encontrou muitos benefícios que demonstraram esta lógica e que estão apresentados na figura 8 a seguir.



Figura 8 – Vantagens da MPrePRE ao ser agregada à MPrePer.

Fonte: Baseado em Mobley (2002, pág. 71 e 72).

Nesse capítulo, com base na experiência do autor<sup>46</sup>, é sugerida uma possível atualização da abordagem da manutenção da MB, visando a implantar gradualmente uma política de MPrePRE em adição à MPrePer, esta última já existente e relativamente consolidada. Propõe-se que a MPrePRE seja implantada inicialmente em navios e submarinos que já têm a MPrePer no SMP, utilizando inicialmente apenas a técnica de medição e análise de vibração e, posteriormente, a ser definido pela DEN, sejam gradativamente agregadas outras técnicas a serem contempladas, como: análise química/ferrográfica de óleo lubrificante, análise de tendência de pressão e temperatura de motores diesel, termografia, etc.

Assim, são abordados os seguintes aspectos: alteração e complementação da regulamentação; modificação da estrutura e coordenação nos diversos órgãos da MB que

<sup>46</sup> O autor, ETM Celso Di DOMENICO, além de ter formação (Mestrado) na área de vibração, possui mais de 20 anos de experiência com apoio à manutenção de navios e submarinos da MB, utilizando a MPrePRE. Até 1997 foi encarregado de divisões da DEN responsáveis pelo projeto de meios na área de choque, vibração e ruído. A partir de então, até os dias de hoje, é encarregado destas mesmas áreas no CPN.

tenham relação com a manutenção, treinamento, qualificação e motivação de pessoal para desenvolver as novas funções de MPrePRE; e implicações financeiras da adoção dessa nova sistemática. A experiência adquirida com as tentativas anteriores de implantação da MPrePRE permitirá propor medidas que terão a visão dos diversos aspectos listados anteriormente, possibilitando assim incorporar de forma plena e sistemática este tipo de técnica na manutenção em navios e submarinos da MB.

Com a implantação plena e sistemática da MPrePRE, em apoio a MPrePer já existente no SMP dos navios de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> Classe<sup>47</sup> da MB, espera-se uma minimização significativa nos custos de manutenção e uma maior disponibilização e confiabilidade dos meios navais. Entretanto, para que essa nova abordagem da manutenção alcance plenamente tais resultados, é necessário que certos procedimentos já previstos no SMP sejam respeitados e cumpridos, dos quais, ao juízo deste autor, pode-se salientar como mais significativos:

- Disponibilização de sobressalentes, ferramentas e dispositivos previstos nas rotinas de manutenção dos navios, na qualidade e quantidade necessária;
- Qualificação técnica adequada de pessoal encarregado na manutenção dos equipamentos e sistemas, tanto no nível de 1<sup>o</sup> escalão (navios) como de 2<sup>o</sup> escalão (bases de apoio);
- Modernização e manutenção de oficinas e estruturas de apoio a manutenção de 2<sup>o</sup> escalão (bases de apoio); e
- Adequação ao SMP/ALI das rotinas de manutenção em todos os navios de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> classe da MB.

---

<sup>47</sup> Navios de 1<sup>a</sup> Classe (Porta aviões, NDD e NDCC) são comandados por CMG e de 2<sup>a</sup> Classe (FCN, FCG e CCI) por CF.

## 5.1 Regulamentação

Como já havia sido apresentado anteriormente nos itens 2.2, 2.3 e 4.3, os EMA-400 e EMA-420 apenas citam que a manutenção deve incorporar os conceitos de MPrePRE aliados a MPrePer. Entretanto, falta a essa normatização maior detalhamento que identifique, entre outras coisas, as atribuições das OM envolvidas com as respectivas estruturas necessárias, as responsabilidades delegadas e a forma de gerenciamento de todo o processo de MPrePRE aliada a MPrePer.

Assim, o sistema de MPrePer tradicional da MB, aplicado em muitos navios na forma do SMP, deve ser complementado com Programas de MPrePRE. Ao agregar-se programas de MPrePRE a este sistema de MPrePer será possível então realizar uma “Engenharia de Manutenção” com os seguintes desdobramentos positivos:

- Reavaliar a periodicidade da MPrePer, flexibilizando o intervalo entre as manutenções e conseqüentemente revisando as rotinas de manutenção dos equipamentos;
- Estimar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, sistemas e meios; e
- Avaliar a manutenibilidade de equipamentos e sistemas.

Para tornar isso possível, ao juízo deste autor, será necessário que sejam modificadas os EMA-400 e EMA-420 de modo a regular as seguintes questões:

- Definir a estrutura e a coordenação das OMs, delegando responsabilidades e indicando o fluxo na tramitação das informações de controle no processo de implantação da MPrePRE, conforme sugerido no item 5.2. Esta estrutura deverá ter a capacidade de definir, principalmente, a forma, a velocidade e a abrangência de implantação de técnicas preditivas e como será feito o controle de todo o

processo (com gerentes atuantes, planejamentos amplos e equipe de desenvolvimento/implementação motivada);

➤ Solicitar a redação ou alteração pelas DE de normas para uso de técnicas de MPrePRE (como a revisão das ENGENALMARINST da DEN), prevendo inicialmente as de vibração para todos os equipamentos rotativos/ alternativos e posteriormente as de Análise de Óleo e de Análise de Tendência de Parâmetros (Pressão e Temperatura), para navios de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> Classe e submarinos da MB;

➤ Prever a criação de cursos na EsNa<sup>48</sup>, no CIAW<sup>49</sup>, no CIAA e na EAM<sup>50</sup> para treinamento, qualificação e motivação de oficiais e praças com relação aos procedimentos de MPrePRE de acordo com o sugerido no item 5.3; e

➤ Solicitar a revisão e alteração pelas DE das rotinas de manutenção de navios e submarinos pré-selecionados (que tenham SMP implantados e funcionais como as FCN, SCT e CCI), como o que já foi feito para o NE Brasil<sup>51</sup>. Com essa revisão, o SMP passará a ter um planejamento baseado na MPrePRE, em apoio à MPrePer.

## 5.2 Estrutura e coordenação

Para que uma MPrePRE seja implantada de forma plena e eficaz, em apoio a MPrePer existente no SMP de muitos navios da MB, além de garantir que não será

<sup>48</sup> Como parte do currículo dos oficiais alunos da Escola Naval, dentro de uma cadeira ligada à manutenção por exemplo.

<sup>49</sup> A partir de 1996 o CIAW incluiu o estudo de técnicas de MPrePRE no “Curso de Aperfeiçoamento de Máquinas para Oficiais - CAMO”. Tal ação, apesar de transmitir excelente conhecimento teórico da MPrePRE, não resultou num treinamento e qualificação destes oficiais na MPrePRE para os navios da MB, de forma plena e sistemática, conforme sugerido no item 5.3, já que não incluiu a parte prática/experimental com instrumentação e procedimentos a serem utilizados na MB.

<sup>50</sup> Como parte regular do Curso de Formação de Marinheiros (CFMN).

<sup>51</sup> Exemplo do “Cartão de Manutenção (1º Escalão) para medição de vibração dos Grupos Diesel-Geradores do NE Brasil” encontra-se no anexo C.

abandonada posteriormente, diferentemente do que ocorreu em outras tentativas anteriores, torna-se necessário adequar ou alterar a estrutura da MB.

Similar ao que já foi sugerido no Relatório do Grupo de Trabalho da DGMM (Anexo A) de maio de 2007 e considerando alguns aspectos das entrevistas com Ramires<sup>52</sup> (Apêndice A) e de Martins<sup>53</sup> (Apêndice B), ao juízo deste autor, deve-se então adotar a seguinte sistemática para implantar e manter a MPrePRE:

a) As atribuições das OM, envolvidas na construção, modernização, manutenção, condução e fiscalização de equipamentos e sistemas de navios e submarinos, visando a medição e análise de vibração<sup>54</sup> na execução de fato da MPrePRE, deverão ser as seguintes:

➤ Navios e Submarinos – As próprias tripulações dos navios e submarinos farão medições de vibração em intervalos de tempo predefinidos (1, 2 ou 3 meses, por exemplo) em todos os equipamentos rotativos e alguns alternativos com instrumentos de medição chamados de “coletores de vibração” ou de “medidores<sup>55</sup> de nível *global* de vibração”. Estes resultados darão subsídios para a programação da manutenção dos equipamentos e no retorno do equipamento da manutenção serão realizadas novas medições para fazer a Garantia de Qualidade da manutenção. Caso haja dúvidas, a Inspetoria Técnica (IT) da DEN<sup>56</sup>, que acompanha o processo, irá dar seu parecer, medindo ou não novamente o equipamento;

<sup>52</sup> O CMG(RM1) Milton RAMIRES possui larga experiência (mais de 20 anos) tanto no gerenciamento do SMP como do ALI na DEN e na DSAM;

<sup>53</sup> O CMG(EN) Ivan TAVEIRA Martins tem formação acadêmica na área MPrePRE (Mestrado em Southampton – England) e muitos anos de experiência em projeto e apoio na manutenção, tanto pela DEN como pelo CPN.

<sup>54</sup> Outros parâmetros serão implantados progressivamente.

<sup>55</sup> Instrumentos muito compactos e de simples operação que medem os níveis globais de vibração, níveis estes que expressam, através de um número, a soma das amplitudes contidas em todas as frequências do espectro.

<sup>56</sup> As Inspetorias Técnicas da DEN serão departamentos da DEN, localizadas dentro dos estaleiros e bases da MB, realizando medições dos níveis de vibração de equipamentos, com coletores de vibração próprios, fazendo a “Garantia de Qualidade” de forma adequada e permanente de todos os reparos, modernizações e manutenções realizadas pelas bases e estaleiros. Inicialmente poderá ser ativada apenas a Inspetoria Técnica da área do 1º DN, localizada na Ilha das Cobras, ou Base Naval do RJ, por exemplo.

➤ Bases e Estaleiros – Farão medições de vibração (de bancada) em níveis globais, toda vez que terminar a manutenção de equipamento, para aprovação da manutenção realizada;

➤ Inspetorias Técnicas da DEN – Farão medições de vibração tanto de níveis globais como espectrais em equipamentos de navios e submarinos em construção, modernização ou manutenção, apoiando os meios e fazendo a Garantia de Qualidade destas atividades;

➤ DEN – Será responsável por toda a normatização do assunto, solucionando dúvidas técnico gerenciais ligadas à manutenção preditiva. Também será responsável pela manutenção de um Banco de Dados de todas as medições realizadas pelos navios, bases e IT;

➤ CPN – Dará o suporte técnico à DEN para as atividades técnicas relacionadas às medições e análises de vibração visando a manutenção preditiva de equipamentos, inclusive realizando medições e análises de vibração de equipamentos mais complexos (redutoras, eixos propulsores, etc.) em que forem necessárias técnicas mais avançadas desta área ou as OM envolvidas tiverem dúvidas das causas das vibrações;

➤ CMM – Auditará todo o processo de medição, análise e laudos técnicos elaborados pelas diversas OM envolvidas.

b) As atribuições das OM visando o gerenciamento, controle, normatização, qualificação técnica de pessoal e especificação de instrumentação da MPrePRE, deverão ser as seguintes:

➤ DGMM: Criar um projeto que estabeleça uma política para a implantação da MPrePRE, garantindo o controle contínuo que propiciará a difusão, treinamento, motivação, distribuição de materiais necessários, propaganda de resultados, etc.).

➤ CMM: Gerenciar e coordenar todas as ações de MPrePRE, realizando reuniões com as OM executoras, definindo metas, cobrando resultados e propondo alterações de sistemática e procedimentos de abordagem para atendimento das diretrizes traçadas pela DGMM;

➤ DEN: Fixar diretrizes associadas à política de MPrePRE estabelecida pela DGMM, com a elaboração de normas e procedimentos de Manutenção Preditiva; e efetuar as adaptações necessárias nas rotinas de SMP dos equipamentos para navios a serem selecionados;

➤ DEN com o apoio do CPN: Especificar/elaborar cursos de qualificação e treinamento de pessoal nos quatro níveis; e estabelecer quantitativo de pessoal especializado em cada OM para cada um dos quatro níveis;

➤ CPN: Especificar e quantificar equipamentos de medição para cada um dos quatro níveis de qualificação; e

➤ Bases/Estações Navais e AMRJ: Estabelecer divisões nos Departamentos Industriais das Bases/Estações Navais e AMRJ com serviço dedicado à manutenção preditiva;

c) Os níveis de qualificação técnica do pessoal das OM, envolvidos nestas medições e análises de vibração ou outros parâmetros a serem definidos, deverão ser os seguintes:

➤ DGMM e CMM– Somente qualificação em gerenciamento de projetos;

➤ DEN – Analistas<sup>57</sup> de nível II e III;

➤ CPN – Analistas de nível II, III e IV;

➤ IT da DEN, Bases/Estações Navais e AMRJ – Analistas de nível I e II; e

---

<sup>57</sup> Analista de nível I, II, III e IV são os níveis de qualificação obtidos no treinamento e qualificação conforme definido no item 5.3

➤ Meios Navais – Analistas de nível I;

d) A estrutura com o organograma de subordinação, controle e cooperação das OM, para o gerenciamento da MPrePRE, ao juízo deste autor, deverá ser o seguinte:

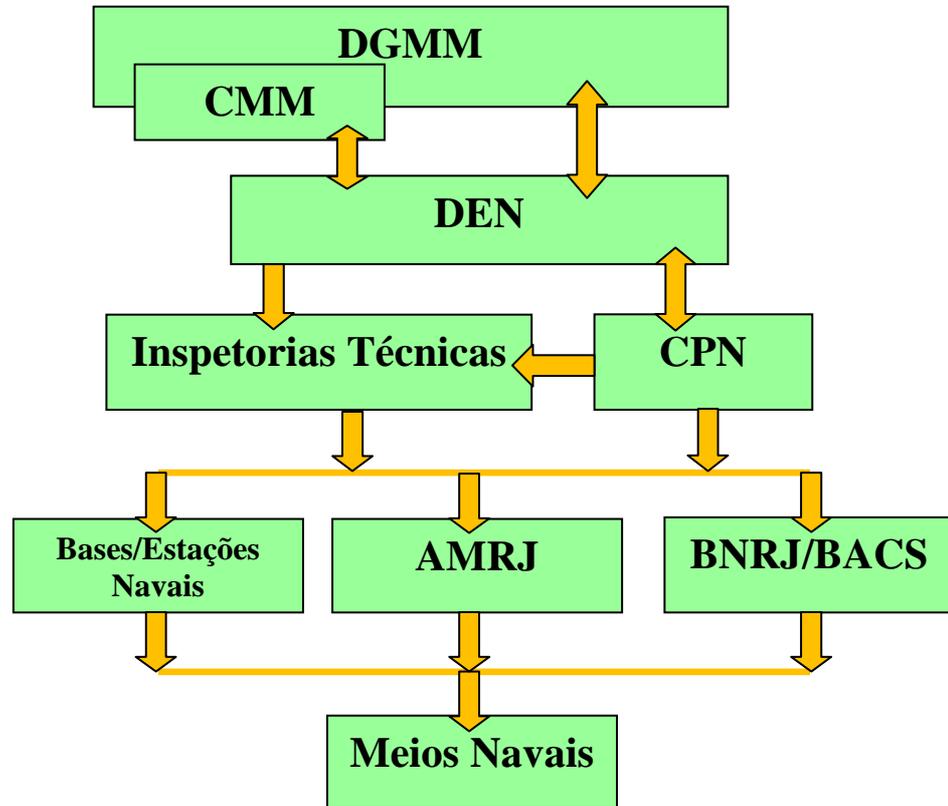


Figura 9 - Proposta do organograma de subordinação e gerenciamento da MPrePRE  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3 Treinamento e qualificação de pessoal

O treinamento e a qualificação de pessoal para desenvolver as novas funções de MPrePRE deverão ser estruturados para todos os oficiais e praças das OM envolvidas que estarão ligados a manutenção dos meios. A DEN (com o apoio do CPN) definirá o público-alvo destes cursos de treinamento e a qualificação para cada tipo de OM envolvida com a manutenção, conforme o nível de qualificação definido em 5.2.c.

O programa do Curso de Aperfeiçoamento de Máquinas para Oficiais (CAMO) do CIAW, já incluiu, desde 1996 o estudo das técnicas de MPrePRE. Porém, como tal curso contempla apenas a parte teórica, faltando a parte prática/experimental, então não se pode considerá-lo completo e estruturado para que permita o treinamento e qualificação, conforme se pretende implantar. Já no curso de formação de oficiais da EsNa e nos cursos de formação de praças da EAM e CIAA não há, até o momento, qualquer aprendizado de técnicas de MPrePRE. Assim, ao juízo deste autor, deverá ser produzido (pela DEN/CPN) programas para os curso de treinamento e qualificação de técnicos nos níveis de Analista I a IV.

Este programa deverá ser estruturado em quatro níveis de modo que sejam qualificados técnicos nos níveis de Analista I, II, III e IV. Para que um técnico possa fazer o curso de nível Analista II deverá ter sido qualificado primeiramente no nível Analista I, para que possa fazer o curso de nível Analista III deverá ter sido qualificado primeiramente no nível Analista II, e assim sucessivamente.

O programa, no caso de técnicas de medição e análise de vibração de equipamentos, deverá, ao juízo deste autor, ser estruturado com o apoio de profissionais especializados da área (universidades ou empresas especializadas), tendo como referência os currículos dos cursos da AC, relativos aos níveis de Analista I a IV e de acordo com a norma ISO-18436-2<sup>58</sup> (vide Anexos F a I).

O curso de treinamento e qualificação deverá, ao juízo deste autor, ser ministrado da seguinte forma:

➤ Analista nível I:

- na EsNa e na EAM, para oficiais e praças respectivamente, como um módulo dos cursos existentes, durante sua formação regular nesses centros;

---

<sup>58</sup> ISO-18436-2:2003 – Condition Monitoring and diagnostic of machines – Requirements for training and certification of personal – Part 2 : Vibration condition monitoring and diagnostics.

- em empresa ou universidade contratada para tal, para os civis e aqueles militares que não tiveram tal módulo durante os cursos regulares de formação no EsNa e EAM, quando do interesse da administração da MB<sup>59</sup>;

➤ Analistas níveis II:

- no CIAW e CIAA, para oficiais e praças respectivamente, quando em formação nesses centros, prevista em carreira, após alguns anos de experiência como Analista nível I;
- em empresa ou universidade contratada para tal, para civis e militares do interesse da administração da MB;

➤ Analistas níveis III e IV – em empresa ou universidade contratada para tal, para civis e militares do interesse da administração da MB;

Para que um técnico possa fazer o curso de qualificação de nível acima do qual está qualificado, deverá ter acumulado uma experiência mínima na função de Analista que está qualificado, de acordo com o currículo do curso (exemplificado nos Anexos F e I).

#### **5.4 Aspectos Financeiros**

Como se viu, não há dúvidas de que a implantação de uma MPrePRE irá trazer a médio e longo prazos, uma redução significativa nos custos de manutenção de equipamentos e sistemas, além é claro de uma maior confiabilidade e disponibilidade destes equipamentos. Entretanto, para que tal implantação se torne viável, serão necessárias ações (descritas em 5.2 e 5.3) que necessitarão de alocação de recursos. Estes recursos, ao juízo deste autor, deverão ser previstos, inicialmente, para as seguintes atividades:

---

<sup>59</sup> O interesse da Administração da MB subentende as necessidades definidas pela DEN para cada uma das OM que exercerão as atividades de MPrePRE.

i) Criação de Inspetorias Técnicas (IT) da DEN: Iniciar com a criação da IT no Rio de Janeiro (nas dependências do AMRJ ou da BNRJ ou mesmo no CASOp), onde se tem o maior número de meios da MB. O custo da criação desta IT (RJ), além de considerar mobiliário e computadores, deverá prever a instrumentação para medição de vibração, que inicialmente será constituída de dois ou três medidores de vibração de nível global (a semelhança do previsto em iii);

ii) Elaboração de cursos de treinamento e qualificação de medição e análise de vibração: Estes cursos, elaborados a partir dos currículos dos cursos da AC (Anexos F a I), serão estruturados com o apoio de profissionais especializados da área, sendo ministrados na EsNa, CIAW, CIAA, EAM e empresa/universidade contratada, como sugerido em 5.3; e

iii) Aquisição de instrumentação para bases, IT e meios: Iniciar com a aquisição de medidores de vibração de nível global, que é a técnica de MPrePRE mais difundida na MB e que apresenta melhores resultados de detecção de falhas em máquinas rotativas. Este tipo de instrumento de vibração deverá ter grande portabilidade e resistência, além de assistência técnica no Brasil. Um dos coletores de vibração que preenche tais requisitos com um custo relativamente baixo é o Instrutherm MV-690, que tem custo de 1500 a 2000 reais e tem sido recomendado aos meios da MB (ver dados no Apêndice D).

Apesar de haver um custo de implantação da MPrePRE, este poderá ser mitigado por uma implantação programada e gradativa ao longo de um determinado período. Para tal pode-se, por exemplo, iniciar com a criação de uma IT pequena na área do 1ºDN, e implantando a sistemática em uma classe de navios considerada estratégica, como as CCI, as FCN ou mesmo as FCG. Isto permitirá que as despesas com a implantação sejam compensadas folgadoamente com a economia obtida na manutenção apoiada pela MPrePRE, além é claro dos ganhos de confiabilidade e disponibilidade dos meios.

## 6 CONCLUSÕES

O contínuo, e cada vez mais acelerado, processo de desenvolvimento tecnológico da humanidade, levou, durante a IIGM, a uma mudança drástica nos conceitos e na abordagem da manutenção. Assim, ao final desse conflito, foi estabelecido finalmente o conceito de Manutenção Preventiva Periódica (MPrePer), sendo então criada uma sistemática de abordagem da manutenção que visava se antecipar a quebra, implantando uma estratégia segura de minimização de custos de manutenção e maximização da confiabilidade e disponibilidade de equipamentos e sistemas.

Posteriormente, com a evolução da eletrônica, da instrumentação e do processamento de sinais, foi possível realizar uma monitoração de parâmetros de operação de equipamentos e sistemas que, até meados de 1970, era feita quase que exclusivamente de forma intuitiva pelos operadores das máquinas. Com essa evolução foi então criado o conceito de Manutenção Preventiva Preditiva (MPrePRE), que permitiu o estabelecimento de uma manutenção baseada na monitoração do estado real de degradação do equipamento.

Apesar de existirem inúmeras doutrinas de manutenção atualmente em uso no mundo, cada uma com seus méritos e pontos vulneráveis, praticamente todas consideram a adoção da MPrePRE como um de seus pilares de eficácia plena. Assim, a MPrePRE é reconhecida mundialmente como a sistemática de manutenção que levará a uma minimização de custos, de quebras e do tempo de manutenção, bem como a uma maximização de confiabilidade, de disponibilização e da vida útil dos equipamentos e sistemas.

A MB implantou, a partir de 1970, o sistema de MPrePer dentro do SMP de muitos navios, entretanto, não conseguiu até hoje implantar de forma plena e sistemática a MPrePRE apesar de algumas tentativas que não frutificaram por problemas diversos. No caso de alguns navios usados, comprados de outras marinhas, existe uma MPrePRE que veio

incorporada no sistema de manutenção de tais navios e que são utilizados com uma relativa eficácia (algumas das FCG). Os casos dos Sistemas de MPrePRE: ATENDI, LUBE e SAVMAQ (entre 1997 e 2001) começaram a apresentar resultados relativamente satisfatórios, mas foram desativados por obsolescência e falta de gerenciamento e coordenação entre as várias OM envolvidas.

Esse estudo procurou desvendar e avaliar os motivos que impediram a implantação de uma MPrePRE plena e sistemática na MB, concluindo que uma atualização da manutenção deverá ser feita utilizando as lições aprendidas nas tentativas anteriores, o que trará, a médio prazo, uma economia de recursos com a manutenção, além de uma maior disponibilização e confiabilidade destes equipamentos.

Para que se possa fazer então uma atualização da abordagem da manutenção da MB com a implantação efetiva e plena da MPrePRE, deverão ser tomadas ações de caráter logístico, estratégico e financeiro, como detalhado no capítulo 5, sendo ressaltadas as seguintes:

- a) alteração e complementação da regulamentação existente na MB para:
  - i) definir a estrutura e coordenação das OM com relação a MPrePRE em apoio a MPrePer, alterando os EMA-400 e EMA-420;
  - ii) redigir ou alterar as normas para uso de técnicas de MPrePRE, nas Engenalmarist pela DEN;
  - iii) criar e implantar cursos para treinamento, qualificação e motivação de oficiais e praças com relação à MPrePRE; e
  - iv) revisar e alterar as rotinas de manutenção de navios e submarinos para incorporar a MPrePRE, em apoio a MPrePer;

b) estruturação, gerenciamento e coordenação dos diversos órgãos da MB que tenham relação com a construção, modernização, modificação e manutenção de navios e submarinos, com vistas à implantação da MPrePRE;

c) treinamento e qualificação de pessoal para desenvolver as novas funções de MPrePRE; e

d) dotação financeira para a modificação da estrutura da MB que permitirá implantar a nova sistemática de MPrePRE em apoio a MPrePer.

Dessa forma, a atualização da abordagem da manutenção com o uso de técnicas de MPrePRE, em apoio a MPrePer já existente nos navios da MB, trará uma minimização significativa nos custos de manutenção e uma maior disponibilização e confiabilidade dos meios navais e, conseqüentemente, um maior aprestamento dos meios navais. Porém, para que essa nova abordagem alcance tais resultados de forma plena e sistemática, deverão ser cumpridos os procedimentos previstos no SMP, tais como: disponibilização de sobressalentes, ferramentas e dispositivos previstos nas rotinas de manutenção; qualificação técnica de pessoal encarregado da manutenção; e modernização e manutenção de oficinas e estruturas de apoio a manutenção.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR: 14724**: informação e documentação : trabalhos acadêmicos : apresentação. Rio de Janeiro, 2005.

BELTRAME, Eduardo. **Os 18 Anos da Preditiva no Brasil**. Manutenção y Qualidade, Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações e Assessoria Ltda., dez/mar 2009, Revista Quadrimestral, p. 12.

BÍBLIA SAGRADA.A.T. **Daniel** ed. rev. São Paulo: Casa Publicadora das Assembléias de Deus, 1995. 1279p. Tradução de: João Ferreira de Almeida.

BRASIL. Centro de Projetos de Navios, Marinha do Brasil. RLT-073-NRL-034 – **Intercâmbio com a Armada Chilena – Área de Manutenção Preditiva – Relatório de Representante**. Rio de Janeiro, Nov. 2006.

\_\_\_\_\_. RLT-073-NRL-048 – **Relatório de Representante - Intercâmbio com a Armada do Chile na área de Manutenção Preditiva** –. Rio de Janeiro, Ago. 2008.

BRASIL. Diretoria de Engenharia Naval, Marinha do Brasil. **ENGENALMARINST 16-04** – Manutenção Preditiva – Procedimentos relativos ao acompanhamento do estado dos Motores de Combustão Principal (MCP) das Fragatas Classe “Niterói” e Corvetas Classe “Inhaúma” - Sistema de Análise de Tendências de Motores Diesel (ATENDI). Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **ENGENALMARINST 16-05** – Manutenção Preditiva - Procedimentos relativos ao acompanhamento do estado dos Motores de Combustão Principal (MCP) das Fragatas Classe “Niterói” e Corvetas Classe “Inhaúma” - Sistema de Análise de Óleos Lubrificantes de Motores Diesel (LUBE). Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **ENGENALMARINST 16-06** – Manutenção Preditiva - Análise de Vibrações de Equipamentos Rotativos das Fragatas Classe “Niterói” e Corvetas Classe “Inhaúma” - Sistema SAVMAQ. Rio de Janeiro, 1998.

BRASIL. Diretoria Geral de Material da Marinha. **Memorando 11/1996**. Rio de Janeiro, Ago. 1996.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Portaria 32/2007**. Rio de Janeiro, 20 mar. 2007.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **Relatório do Grupo de Trabalho – Manutenção Preditiva**. Rio de Janeiro, 10 maio 2007.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-400 - Manual de Logística da Marinha**. Brasília: EMA, 2003.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **EMA-410 rev. 3 – Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha** – Capítulo 8 – Sistemas de apoio à Logística e à Administração. Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. **EMA-420 ver. 2 – Normas para Logística do Material** – Capítulo 3 - Processo de Manutenção. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministro da Marinha. **Memorando 17/1996**. Brasília, jul. 1996.

CURY NETTO, Wady Abrahão. **A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias**, Minas Gerais, UFJF, Dez 2008. Monografia do Curso de Engenharia de Produção. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ep/files/2010/05/wady-UFJF-Engenharia-Monografia.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2011.

FITCH, E.C. **Proactive Maintenance for Mechanical Systems**. 1 ed. England, Elsevier Science Publishers Ltda, 1992.

FRANÇA, Junia Lessa; VASCONCELOS, Ana Cristina de. **Manual para normalização de publicações técnico-científicas**. 8. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 255 p.

JONES, James V. **Supportability Engineering Handbook: implementation, measurement and management**. McGraw-Hill, New York, 2007

MARTINS, Ivan Taveira. **Entrevista semi-estruturada concedida a Celso Di Domenico**. Rio de Janeiro, 22 jul. 2011.

MOBLEY, R. Keith. **An Introduction to Predictive Maintenance**. New York: Editora Elsevier Science. 2. ed. 2002.

MONCHY, François. **A função Manutenção** – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial. São Paulo: Editora Durban Ltda., 1989.

MOUBRAY, John. **Reliability-Centred Maintenance**. Leicestershire: Butterworth Heinemann. 1991.

NEUMANN, Clóvis. **Projeto de Fábrica e Layout**. Minas Gerais, UFJF, 2008. Notas de Aula do curso de Engenharia de Produção.

PINTO, Alan Kardec; Nascif, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Editora QualityMark. 2. ed. 2001.

RAMIRES, Milton. **Entrevista semi-estruturada concedida a Celso Di Domenico**. Rio de Janeiro, 21 jun. 2011.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Ed. Atlas, 2002.

SMITH, A. M. **Reliability-Centred Maintenance**. London: Butterworth Heinemann , 2. Ed. 1997.

SOUSA, Manoel Celestino Tavares de. **Entrevista concedida a Celso Di Domenico**. Rio de Janeiro, 20 jun. 2011.

WILLIAMS, John H.; DAVIES, Alan; DRACKE, Paul R.. **Condition-based Maintenance and Machine Diagnostics**, 1. ed. New York, 1994.

WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção Produtiva Total**. Florianópolis: UFSC, jun 1997. Tese de Mestrado em Engenharia de Produção. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy>. Acesso em 26 jun. 2011.

ZENTGRAF, Maria Christina. **Introdução ao estudo da metodologia científica**. Rio de Janeiro: COPPEAD/UFRJ, 2011. Módulo de ensino. 104 p.

**APÊNDICE A – Entrevista com o CMG (RM1) Milton Ramires – 21 jun. 2011**

Roteiro da entrevista semi-estruturada, recebida por correio eletrônico em 21 de junho de 2011, do Capitão-de-Mar-e-Guerra Milton Ramirez

Nome: CMG (RM1) Milton **Ramires**

Cargo: GERENTE do ALI e SMP da DSAM

Local: Rio de Janeiro

Pergunta nº 1: Dentre as principais técnicas/procedimentos de manutenção em uso no Mundo qual o Sr. destacaria como de aplicação no caso da MB e quais ganhos traria de imediato?

Resposta:

Acredito que entre as técnicas hoje disponíveis, a MB pode adotar até mais de uma, conforme o meio, seu perfil operativo, a infraestrutura de apoio entre outros fatores.

As técnicas de manutenção preditiva atendem aos nossos meios atuais com a vantagem de serem aplicadas em paralelo com sistema atual complementando-o onde for necessário.

Poderíamos apontar como ganhos iniciais a possibilidade de acompanhar o estado do material sem paradas do meio, troca desnecessária ou antecipada de sobressalentes, planejamento adequado para uma ação corretiva indicada.

De acordo com especialistas a redução dos custos de manutenção com o emprego de um conjunto de técnicas de manutenção preditiva é de 50 a 60% assim como a redução das paradas por quebra e o aumento da vida útil do meio seria de 20 a 40%.

Pergunta n° 2: Por que a MB ainda utiliza basicamente a manutenção chamada Preventiva Periódica (Planejada) em seus meios navais, não tendo evoluído para uma manutenção chamada Preventiva Preditiva ou outras até mais modernas, utilizadas em todo mundo a mais de 20 anos?

Resposta:

Os nossos navios em passado não tão distante eram em sua maioria de origem americana que dispunham de seus sistemas próprios de manutenção, com grande disponibilidade de sobressalentes para reposição, o que nos proporcionava certa tranqüilidade na manutenção.

Com o advento das Fragatas Classe Niterói também usamos um sistema de manutenção produzido pelos ingleses e de um modo geral adotadas por outras marinhas também.

Assim não procuramos mudar, houve uma certa acomodação já que o sistema vigente até hoje atendia.

Em 1996, Memorando do Ministro da Marinha determinava medidas no sentido de implementar técnicas de manutenção sintomática e preventiva preditiva o que de certo modo despertou a MB para o assunto e o CPN procurou implementar algumas técnicas, o que vem fazendo.

Pergunta n° 3: Alguns navios da MB como Fragatas Classe Greenhalgh, CT Classe Pará e NDCC Garcia D'Avila foram adquiridos já com seus sistema de manutenção baseados em técnicas preditivas de análise de vibração. Porque tais procedimentos, apesar de serem considerados mais eficientes, econômicos e confiáveis não foram incentivados e transferidos para os demais meios navais da MB e muito pelo contrário, tem sido desativados nestes meios?

Resposta:

Acredito que por falta de uma sistemática atuante na área de manutenção, de uma visão mais ampla sobre o assunto e a sempre falta de recursos acarretaram o desestímulo na adoção de tais procedimentos.

Quase sempre tais inovações exigem recursos extras não disponíveis, não compatíveis com as prioridades do momento e assim o assunto é sempre postergado.

Pergunta n° 4: As experiências realizadas entre 1997 e 2000 com os sistemas de manutenção preventiva preditiva LUBE, ATENDI e SAVMAQ não lograram êxito. De acordo com sua visão e experiência porque isso ocorreu e como fazer para finalmente atingirmos tal objetivo?

Resposta:

Acrescentando ao que já disse é provável que não houve vontade política de implementar novas técnicas, considerando novamente os aspectos de prioridade, recursos etc.

Nos dias de hoje apesar de toda restrição de recursos o assunto é tratado de outra forma e penso que estamos caminhando bem neste sentido observando as várias medidas que estão progressivamente sendo adotadas.

Pergunta n° 5: Apesar do EMA-420 (2002) no seu item 3.4.4 prever ações preventivas preditivas na manutenção de equipamentos e sistemas dos meios navais da MB, até hoje muito pouco ocorreu efetivamente em termos de logística e de estratégia que levasse a uma efetiva e ampla manutenção preventiva preditiva em adição a manutenção preventiva periódica. Quais seus comentários sobre as verdadeiras razões que impedem ou dificultam a efetiva implantação dessa manutenção preventiva preditiva?

Resposta:

Esta pergunta já foi em parte respondida nas respostas anteriores. Por se tratar de uma manutenção que inicialmente exige recursos extras para a aquisição de material específico, treinamento de pessoal, etc., com envolvimento dos setores operativo, do material e do abastecimento é um assunto complexo.

Com a atenção especial que a administração dedica hoje ao assunto destacando a criação recente da COORDENARIA DA MANUTENÇÃO DA MARINHA e o projeto de um Sistema de Apoio Logístico Integrado em andamento, acredito que todos os aspectos da manutenção e em especial as vantagens da preditiva estão sendo melhor entendidos e conduzidos.

Pergunta n° 6: Conforme constatado em intercambio com a Armada Chilena, a implantação de uma estrutura de Inspetorias de Engenharia com uso de técnicas de análise preditiva, não só obrigam todas as OMs envolvidas na manutenção (Bases, Navios, Estaleiros..etc.) a utilizar-se de uma manutenção calcada em técnicas preditivas, como também realiza a garantia de qualidade da manutenção. Como o Sr. vê isso aplicado a MB?

Resposta:

È um bom caminho e acho que pelo menos no âmbito das FORÇAS NAVAIS já deveria existir um núcleo para acompanhar a manutenção dos seus meios como um todo, preditiva ou não. Os meios estariam sendo assistidos por seus comandos mais próximos com uma resposta rápida às ações de manutenção.

Pergunta n° 7: Os Procedimentos e normas da DEN e do EMA precisam ser reformulados para que a manutenção preventiva preditiva seja implementada corretamente ou estes

procedimentos e normas já estão corretamente formulados, faltando ações de logística por exemplo para que tal ocorra?

Resposta:

A documentação existente precisa ser atualizada com determinações precisas sobre responsabilidades de execução, retorno de resultados etc.

Pergunta n° 8: Como as novas técnicas preditivas deverão ser implementadas no âmbito logístico, estratégico e financeiro, permitindo uma efetiva redução de custos e aumento de confiabilidade e disponibilização dos meios?

Resposta:

Para implementação de qualquer medida neste sentido há que existir uma decisão política de alto nível, ou seja, uma determinação da alta administração naval com alocação de recursos continuamente.

Pergunta n° 9: Quais as consequências estratégicas e financeiras para a MB caso não adote de forma ampla e sistemática a manutenção preventiva preditiva em apoio a manutenção preventiva periódica existente atualmente?

Resposta:

As consequências são claras, redução da vida útil do meio, da sua capacidade operativa gastos desnecessários com sobressalentes, com prejuízo financeiro e reflexos indesejáveis na prontidão da Força.

**APÊNDICE B – Entrevista com o CMG (EN) Ivan Taveira Martins – 22 jul. 2011**

Roteiro da entrevista semi-estruturada, recebida por correio eletrônico em 22 de julho de 2011, do CMG Ivan Taveira Martins.

Nome: CMG (EM) Ivan **Taveira** Martins

Cargo: Vice-Diretor da DEN

Local: Rio de Janeiro

Pergunta n° 1: Dentre as principais técnicas/procedimentos de manutenção em uso no Mundo qual o Sr. destacaria como de aplicação no caso da MB e quais ganhos traria de imediato?

Resposta:

Diversas são as doutrinas de manutenção atualmente em uso no mundo industrial, cada uma delas com seus fatores de força e com suas vulnerabilidades intrínsecas. Entretanto, passíveis de serem adotadas, com ganhos, pela MB, considero que três apresentam-se mais promissoras. São elas:

- a **Manutenção Preventiva Preditiva** (“Condition-based Maintenance” ou “Health Monitoring”) na qual as ações de manutenção em sistemas/equipamentos são antecipadamente planejadas em função de avaliação de estado (“*sauúde*”) e diagnósticos decorrentes de inspeções pouco invasivas que desobriguem trabalhos de desmontagem. Essas inspeções para avaliação de estado são calcadas em técnicas específicas que possibilitam a correlação entre estado diagnosticado e a manutenção requerida. Dentre essas técnicas, destacam-se a análise de assinatura vibratória e a análise de tendências. É uma doutrina comprovadamente eficiente na prevenção de avarias e seu custo material

(sensores, sistemas de aquisição de dados, e softwares de análise) tem caído bastante ao longo dos últimos 20 anos.

- a **Manutenção Voltada para a Confiabilidade** (RCM – “Reliability-Centered Maintenance”) cujo conceito principal é a admissão que as falhas e avarias são inevitáveis, ou seja, que “falha-zero” é meta impossível de ser atingida e, portanto, que a manutenção deve concorrer para conter as conseqüências das falhas. Adotada nas indústrias aeronáutica, nuclear e de geração elétrica e parcialmente adotadas em Marinhas tais como a US Navy e Royal Navy. Essa doutrina tem fama de resultar em altíssimos níveis de confiabilidade nos sistemas mas, ao mesmo tempo, tem fama de também aumentar muito os custos de manutenção.
- **Manutenção Pró-ativa**, baseada na percepção e detecção antecipada das causas fundamentais (“root-causes”) das possíveis avarias. Na realidade parece ser um “tutti-frutti” dos aspectos favoráveis de todas as doutrinas de manutenção conhecidas! Existem indicações que a US Navy teria interesse nessa doutrina.

Vale ressaltar que as duas últimas doutrinas citadas consideram a adoção da primeira (Manutenção Preventiva Preditiva) como um dos seus elementos de trabalho.

Pergunta nº 2: Por que a MB ainda utiliza basicamente a manutenção chamada Preventiva Periódica (Planejada) em seus meios navais, não tendo evoluído para uma manutenção chamada Preventiva Preditiva ou outras até mais modernas, utilizadas em todo mundo a mais de 20 anos?

Resposta:

Inicialmente, permita-me dizer que a expressão “a MB ainda utiliza basicamente” a Manutenção Preventiva Programada já ultrapassa a realidade, pois dá idéia que essa doutrina de manutenção está efetivamente difundida entre todos os meios. Talvez o mais correto seja

dizer que a MB ambicione utilizar a Manutenção Preventiva Programada em todos os seus meios.

Isso em face do fato que, para se caracterizar a plena adoção da Manutenção Preventiva Programada, seria necessário que parcela expressiva dos meios/sistemas/equipamentos dispusesse de rotinas escritas e homologadas de manutenção periódica (“SMP”), o que, por força da carência de pessoal na área de planejamento e engenharia da manutenção, só ocorre para algumas classes de navios significativos (tais como corvetas, fragatas, submarinos e navios patrulhas mais modernos).

Para os meios comprados por oportunidade no passado recente, tenta-se, na medida do possível, utilizar as rotinas de manutenção desenvolvidas nas Marinhas originais dos navios, sem qualquer crítica ou ajuste à realidade de utilização na Marinha do Brasil. Já para diversos outros meios/sistemas/equipamentos, particularmente aqueles mais antigos, ou ainda os de menor valor agregado (p.ex., lanchas e embarcações), quase nunca existe SMP e tenta-se apenas cumprir as prescrições de manuais dos equipamentos.

Ora, se tecnicamente a Manutenção Preventiva Preditiva é uma evolução da Manutenção Preventiva Periódica<sup>60</sup>, não ter-se a Manutenção Preventiva Periódica implementada em todos os navios/sistemas ou equipamentos termina por constituir-se em um grande óbice para adoção da Manutenção Preventiva Preditiva ou de sistemas de manutenção mais modernos. A própria Manutenção Preventiva Preditiva é implementada de maneira periódica, isto é, por meio de inspeções periódicas para coleta de dados, inspeções essas que devem estar prescrita em uma rotina de SMP.

Assim, para os navios antigos ou lanchas e embarcações, se não se tem esse sistema preventivo periódico plenamente implantado, torna-se bastante difícil implantar um preditivo.

---

<sup>60</sup> A Manutenção Preventiva Preditiva ao invés de se basear em um gatilho calendárico para o planejamento da execução da manutenção como ocorre na Manutenção Preventiva Periódica, baseia-se, isso sim, no estado (“saúde”) corrente do equipamento, aferido em inspeções periódicas e pouco intrusivas.

Já para meios que dispõem de SMP consolidado, tais como corvetas, fragatas e submarinos, essa adoção é um passo natural, que vem sendo tentado, com sucessos e insucessos, há mais de quinze anos.

Pergunta n° 3: Alguns navios da MB como Fragatas Classe Greenhalgh, CT Classe Pará (já desativados), NDD Mattoso Maia e NDCC Garcia D'Ávila foram adquiridos já com seus sistema de manutenção baseados em técnicas preditivas de análise de vibração. Porque tais procedimentos, apesar de serem considerados mais eficientes, econômicos e confiáveis não foram incentivados e transferidos para os demais meios navais da MB e muito pelo contrário, tem sido desativados nestes meios?

Resposta:

Basicamente em face da manutenção dos meios da MB ter sido executada em base “do mínimo necessário”, base essa que foi a decorrência lógica das severas restrições orçamentárias impostas à MB na segunda metade dos anos 90 e na primeira metade da primeira década do Século XXI.

Nesse sentido, a manutenção era sempre priorizada para aquelas ações que pudessem prevenir o risco imediato ao pessoal ou ao próprio material. Ações de manutenção que não se enquadrassem dessa forma eram, em sua grande maioria, “despriorizadas”, expressão essa que se transformou, nos ouvidos dos maquinistas, em sinônimo de “deixar de executar”. Assim, mesmo após reduzidas as restrições orçamentárias, a MB deparou-se com um oneroso passivo de manutenção a ser revertido. Vale ressaltar, também, que nessa época de restrições orçamentárias, a manutenção preventiva preditiva foi encarada por muitos decisores não como uma forma inteligente de planejar e executar manutenção, mas sim como uma forma de respaldo para deixar de executar ações de manutenção.

Além disso, os sistemas preventivos preditivos que esses navios adquiridos por oportunidade dispunham estavam distantes do “estado-da-arte”, até por que quando das transferências estava ocorrendo uma forte evolução técnica nos sistemas de manutenção e nas técnicas de aquisição de dados e processamento de sinais, por conta de computadores mais rápidos e baratos. Ainda assim, porém, esses sistemas serviram para orientar decisões e estudos para o desenvolvimento de sistemas nacionais ajustados às peculiaridades da MB. Como exemplo cita-se um que foi recebido junto com NDCC Mattoso Maia (ex-LST Cayuga), o sistema ADETA americano, destinado a análise de tendência dos motores diesel ALCO desses navios (e também empregável no motor Fairbanks-Morse do grupo diesel-gerador de emergência de dois CT Classe Pará). Tal sistema foi utilizado como referência para a homologação do sistema nacional ATENDI (Análise de TENDência de motores DIEsel), desenvolvido pela COPPE-UFRJ em coordenação com a Diretoria de Engenharia Naval, no âmbito do antigo Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha.

Pergunta n° 4: As experiências realizadas entre 1997 e 2000 com os sistemas de manutenção preventiva preditiva LUBE, ATENDI e SAVMAQ não lograram êxito. De acordo com sua visão e experiência porque isso ocorreu e como fazer para finalmente atingirmos tal objetivo?

Resposta:

Inicialmente, permita-me discordar do contido na pergunta, pois considero que as iniciativas dos sistemas de manutenção preventiva preditiva LUBE, ATENDI e SAVMAQ lograram, sim, um êxito, pelo menos parcial.

O sistema SAVMAQ (Sistema de Análise de Vibrações de MAQuinas) foi o de maior sucesso. Esse sistema teria tido vida longa na MB não fossem dois problemas conjunturais: a dissolução da firma fabricante do equipamento coletor de dados utilizado pelo sistema (item vital e do qual ter-se-ia que dispor de um razoável número de unidades que seriam

distribuídas pelos navios) e as restrições orçamentárias do final da década de 90 (que impediram que se desenvolvesse um coletor alternativo). Mas enquanto duraram os poucos coletores inicialmente adquiridos, o sistema se mostrou palatável junto ao pessoal de bordo (que havia sido adequadamente treinado e motivado para a utilização), mesmo tendo que ocorrer a inconveniente rodízio dos coletores pelos navios.

Já o LUBE e o ATENDI sofreram com o manifesto desinteresse dos fabricantes de motores, que não propiciavam as informações necessárias ao aperfeiçoamento dos sistemas. Em alguns casos, esse desinteresse se propagou para as tripulações que, ao contrário do caso do SAVMAQ, não haviam sido treinadas e motivadas adequadamente.

Enfim, esses sistemas não tiveram maior sucesso por fatores conjunturais (para o quais não se tinha recursos para sanar) e por fatores culturais (desmotivação e descrença).

Pergunta n° 5: Apesar do EMA-420 (2002) no seu item 3.4.4 prever ações preventivas preditivas na manutenção de equipamentos e sistemas dos meios navais da MB, até hoje muito pouco ocorreu efetivamente em termos de logística e de estratégia que levasse a uma efetiva e ampla manutenção preventiva preditiva em adição a manutenção preventiva periódica. Quais seus comentários sobre as verdadeiras razões que impedem ou dificultam a efetiva implantação dessa manutenção preventiva preditiva?

Resposta:

Basicamente as razões são culturais e deficiência de pessoal nos setores técnicos de desenvolvimento.

As razões culturais estão associadas à descrença na eficácia dos sistemas preventivos preditivos, ao trabalho inicial de implantação dos sistemas e ao medo que esses sistemas

sejam utilizados apenas para justificar não fazer manutenção. Todos esses aspectos podem ser contornados com treinamento adequado e ações de motivação.

As razões de deficiência de pessoal nos setores de desenvolvimento são tão importantes quanto as culturais. Todos os sistemas preventivos preditivos que se tentou implementar na MB sempre sofreram muito com a falta e com o rodízio de pessoal. Diversos foram os responsáveis por esses sistemas, nem sempre com qualificação adequada, gerando uma desvinculação desses responsáveis ao produto. Ensina a sabedoria popular que “o olho do dono engorda o boi”, e talvez por isso, o SAVMAQ tenha sido o que mais sucesso obteve: esse sistema teve como “dono” um engenheiro civil que acompanhou toda a vida do sistema mesmo quando mudou de OM<sup>61</sup>.

Pergunta nº 6: Conforme constatado em intercambio com a Armada Chilena, a implantação de uma estrutura de Inspetorias de Engenharia com uso de técnicas de análise preditiva, não só obrigam todas as OMs envolvidas na manutenção (Bases, Navios, Estaleiros..etc.) a utilizar-se de uma manutenção calcada em técnicas preditivas, como também realiza a garantia de qualidade da manutenção. Como o Sr. vê isso aplicado a MB?

Resposta:

O Fator Cultural é preponderante. No Chile valoriza-se a manutenção e, como decorrência, tanto os planejadores dotam recursos em volume adequado para o cumprimento da manutenção, quanto as Inspetorias tem força política para impor tal cumprimento.

Já no Brasil, no contexto da época de severas restrições orçamentárias, isso sim, respaldar para não-execução das ações de manutenção julgadas não afetas a prevenir risco imediato ao pessoal ou ao próprio material, como forma de economia de recursos. Nesse sentido, não

---

<sup>61</sup> Esse engenheiro é o ETM Celso Di Domenico que ora me entrevista.

haveria possibilidade de se falar em “imposição do cumprimento da manutenção”, seja ela periódica, seja ela preditiva.

Caso seja concebido um cenário futuro sem restrições orçamentárias severas para a manutenção, inspeções de cumprimento de manutenção podem proporcionar bons resultados, a exemplo daquelas que já se executa na MB para aprestamento operativo e para segurança de aviação.

Pergunta n° 7: Os Procedimentos e normas da DEN e do EMA precisam ser reformulados para que a manutenção preventiva preditiva seja implementada corretamente ou estes procedimentos e normas já estão corretamente formulados, faltando ações de logística por exemplo para que tal ocorra?

Resposta:

Em minha opinião, os procedimentos e normas da DEN e do EMA não precisam de reformulação completa, requerendo apenas ajustes em função das particularidades dos sistemas de Manutenção Preventiva Preditiva que vierem a ser implementados.

O que faltaria, em minha opinião, seriam ações culturais (motivação das tripulações e propaganda de resultados) e logísticas de suprimento dos itens necessários para cada sistema implementado.

Pergunta n° 8: Como as novas técnicas preditivas deverão ser implementadas no âmbito logístico, estratégico e financeiro, permitindo uma efetiva redução de custos e aumento de confiabilidade e disponibilização dos meios?

Resposta:

Em minha opinião, a implementação dessas técnicas de análise preditiva devem ser implementadas como um projeto nos moldes, por exemplo, do PMI. Assim se garantiria um

gerente de implementação estável na função (propiciando continuidade de rumo) e observação de todos os aspectos de implementação (incluindo difusão, treinamento, motivação, distribuição de materiais necessários, propaganda de resultados, etc.). Diga-se de passagem, foi assim que se iniciou a implementação do ATENDI, LUBE e SAVMAQ, com um gerente atuante, planejamentos amplos e equipe de desenvolvimento/implementação motivada. Nessa época se obteve bons sucessos iniciais. Os sucessos se escassearam justamente quando esse tipo de gerência de projeto deixou de ser observado.

Pergunta n° 9: Quais as conseqüências estratégicas e financeiras para a MB caso não adote de forma ampla e sistemática a manutenção preventiva preditiva em apoio a manutenção preventiva periódica existente atualmente?

Resposta:

Em minha opinião, as conseqüências estratégicas mais severas para a MB da não adoção sistemática da manutenção preventiva preditiva será a redução progressiva da confiabilidade e disponibilidade dos meios, equipamentos e sistemas que vão naturalmente envelhecendo.

A conseqüência financeira é fator mais incerto. Autores diversos apresentam percentuais diferentes de redução de custos de manutenção, em decorrência da adoção sistemática da manutenção preventiva preditiva. Assim parece-me mais adequado considerar que perder-se-á boa oportunidade de economia de recursos na manutenção, mas as conseqüências estratégicas de redução da confiabilidade e disponibilidade dos meios será ainda preponderante.

**APÊNDICE C – Entrevista com o ETM Manoel Celestino Tavares de Sousa – 20 jun. 2011**

Roteiro da entrevista semi-estruturada, recebida por correio eletrônico em 20 de junho de 2011, do Engenheiro Manoel Celestino Tavares de Sousa.

Nome: **ETM** Manoel Celestino Tavares de Sousa

Cargo: Encarregado da Divisão de Sistemas de Manutenção Planejada (SMP) da DEN

Local: Rio de Janeiro

Pergunta n° 1: A DEN recebeu alguma determinação ou solicitação para alterar as rotinas de manutenção dos navios da MB a fim de introduzir técnicas de Manutenção Preventiva Preditiva (com vibração por exemplo) ? Se sim, quais foram os navios em que isso ocorreu e quais os que estão programados para tal.

Resposta:

As técnicas são conhecidas, assim como seus benefícios, entretanto, nesses mais de 20 anos que trabalho no SMP da DEN, em que o principal óbice sempre foi a restrição orçamentária para prover os recursos necessários ao investimento inicial, nenhuma alteração foi feita pela DEN com relação à introdução de técnicas de manutenção preditiva nas rotinas de manutenção de navios, a exceção do Navio Escola Brasil em que isso foi feito em 2008, por determinação da DGMM. Somente nesse caso do NE Brasil é que foram introduzidos os conceitos da manutenção preditiva em apoio ao SMP existente, não havendo programação para tal em qualquer navio da MB.

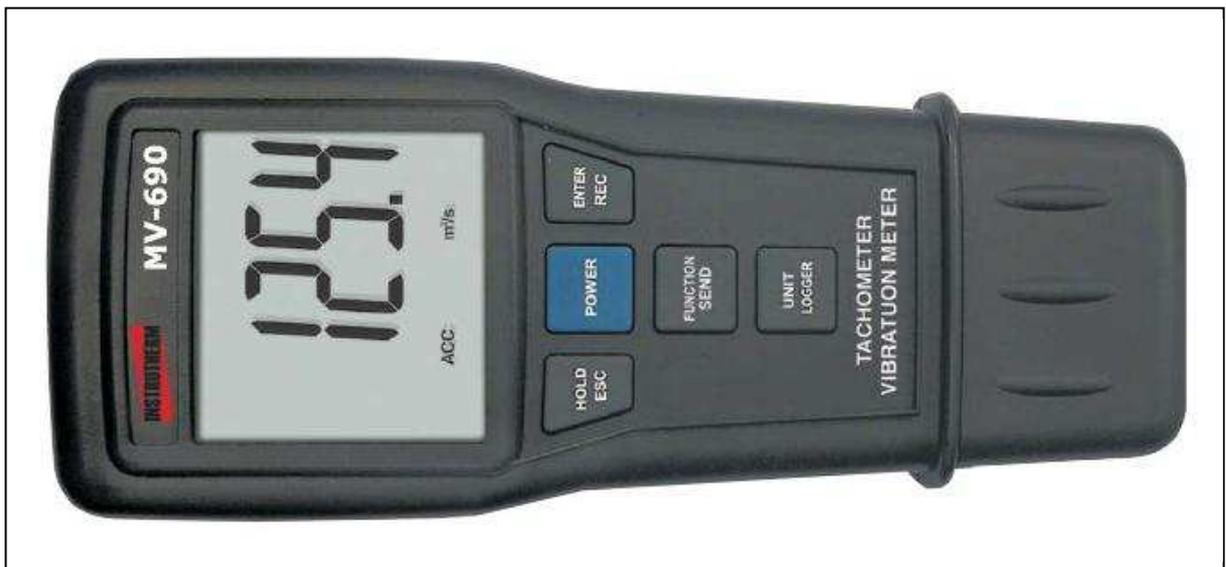
Pergunta n° 2: Quais os navios da MB que possuem uma Manutenção Preventiva Preditiva em suas rotinas de manutenção em apoio ao SMP?

Resposta:

Todos os navios da MB, a exceção das Fragatas Classe Greenhalgh, dos CT Classe Pará e os NDCC Classe Garcia D´Avila (já comprados com um sistema próprio, que possui a manutenção preditiva incorporada em suas rotinas), não possuem quaisquer técnicas de manutenção preditiva incorporada às suas rotinas de manutenção, estando seu SMP ainda baseado praticamente na Manutenção Preventiva Periódica.

**APÊNDICE D - Medidor de Vibração Instrutherm MV-690 – Lista de sites de venda**

- 1) Test Brasil : <http://www.testbrasil.com.br/secao/29212/Medidores-de-Vibracao#hash>  
R\$ 1420,15
- 2) Criffer : <http://www.criffer.com.br/loja/medidores-de-vibracoes/277-medidor-de-vibracoes-mv-690-instrutherm.html>  
R\$ 1430,00
- 3) Instrutherm Instrumentos de Medição Ltda :  
[http://www2.ciashop.com.br/instrutherm/Default1.asp?template\\_id=60&old\\_template\\_id=60&partner\\_id=&tu=b2c&](http://www2.ciashop.com.br/instrutherm/Default1.asp?template_id=60&old_template_id=60&partner_id=&tu=b2c&)  
R\$ 1432,44
- 4) AIQ : <http://www.aiq.com.br/medidor-de-vibracao-mod-mv-690-digital-com-rs-232-e-datalogger.html>  
R\$ 1565,00
- 5) Brasil Hobby : <http://www.brasilhobby.com.br/descricao.asp?CodProd=I04423>  
R\$ 1840,00
- 6) Cial Imports : [https://www.cialcomercio.com.br/default.aspx?id\\_subcategoria=123](https://www.cialcomercio.com.br/default.aspx?id_subcategoria=123)  
R\$ 1922,00



Obs: Sites acessados em 31 jul. 2011

**ANEXO A – Relatório do Grupo de Trabalho – Manutenção Preditiva. DGMM 10 maio 2007**

**MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA-GERAL DO MATERIAL DA MARINHA**

**RELATÓRIO DO GRUPO DE TRABALHO**

**Rio de Janeiro, 10 de maio de 2007**

**Assunto: Manutenção Preditiva**

**Referências: a) Port nº 32/2007, da DGMM;**

Anexos: A) Relatório de Intercambio com a Armada Chilena;  
B) Organograma da Armada Chilena.

**1 – PROBLEMA**

O GT, criado pela portaria da referência a deverá avaliar os procedimentos empregados pela Armada Chilena na Organização e Gerenciamento da Manutenção Preditiva e apresentar propostas de medidas para implantação de um sistema similar, se pertinente, aos navios da MB.

**2 – PRINCIPAIS SISTEMAS DE MANUTENÇÃO**

a) Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é uma técnica de gerência reativa que espera pela falha da máquina ou equipamento, antes que seja tomada qualquer ação de manutenção. A lógica da gerência em manutenção corretiva é simples e direta: quando uma máquina quebra, conserte-a, se não está quebrada, não conserte. Os maiores custos associados com este tipo de gerência de manutenção são: altos custos de estoques de peças sobressalentes, altos custos de trabalho extra, elevado tempo de paralisação da máquina, e baixa disponibilidade do equipamento.

b) Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma técnica que se baseia no tempo médio de falha do equipamento, ou seja, a manutenção do equipamento é feita após ter sido decorridas determinadas quantidade de horas de funcionamento ou horas operacionais. A análise dos

custos de manutenção tem mostrado que um reparo feito de uma forma reativa (isto é, após a falha) normalmente será três vezes mais caro do que o mesmo reparo feito numa base programada. Este é o sistema adotado pela maioria dos navios da MB.

### c) Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma filosofia ou atitude que usa a condição operacional real do equipamento e sistemas da planta de máquinas para otimizar a operação total da planta. A premissa comum da manutenção preditiva é o monitoramento da vibração, da análise de óleo lubrificante, de imagens térmicas dentre outras informações que possam evidenciar as condições de funcionamento do equipamento tendo como referência os dados de projeto.

Para os mecânicos, a manutenção preditiva monitora a vibração das máquinas rotativa numa tentativa de detectar problemas incipientes e evitar falha catastrófica. Para os eletricitas, são o monitoramento das imagens infravermelhas de circuitos, de chaves elétricas, motores, e outros equipamentos elétricos para detectar problemas em desenvolvimento.

Um programa de manutenção preditiva pode minimizar o número de quebras de todos os equipamentos mecânicos da planta industrial e assegurar que o equipamento reparado esteja em condições mecânicas aceitáveis. Ele pode identificar problemas da máquina antes que se tornem sérios já que a maioria dos problemas mecânicos pode ser minimizada se forem detectados e reparados com antecedência. Os modos normais de falha mecânica degradam-se em uma velocidade diretamente proporcional a sua severidade; portanto, quando um problema é detectado logo, normalmente podem-se evitar maiores reparos.

## **2 – ESTRUTURA DA ARMADA CHILENA**

A estrutura da Armada Chilena em linhas gerais possui uma grande similaridade com a da MB, como pode ser visto nos diagramas do Anexo B. Diretamente subordinada ao Estado Maior da Armada estão as Diretorias Gerais e dentre elas a de Material a quem está subordinada a Diretoria de Engenharia e Sistemas Navais (DIRISNAV). Ao longo da costa do Chile estão localizadas equidistantes as Inspetorias Técnicas, ligadas diretamente a DIRISNAV, como se fossem um Departamento. Estas inspetorias não são Organizações Militares e são independentes dos Comandos das Zonas Navais (como nossos Distritos).

### 2.1 - Aspectos Históricos

Em 1990 a Armada do Chile iniciou o processo de introdução do sistema de manutenção preditiva ou por diagnóstico. Neste sentido foram realizados esforços de

caráter técnicos e administrativos que se transformaram em resultados positivos no processo de manutenção das máquinas da frota naval. A estrutura atualmente empregada, fruto dos resultados obtidos ao longo dos anos, está amadurecida e utiliza outros fatores além da análise de vibração para diagnóstico da situação dos equipamentos de máquinas, atendendo assim a manutenção preditiva na sua plenitude.

## 2.2 – Aspectos Técnicos

Na estrutura chilena a DIRISNAV é o órgão que normatiza as atividades de engenharia na manutenção preditiva, voltada sempre a cumprir seus objetivos fundamentais de evitar inoperância desnecessária dos equipamentos; aumentar a vida útil das máquinas e seus componentes e prevenir falhas catastróficas por mau funcionamento continuado.

Estes objetivos são alcançados com uma política e planejamento de capacitação de pessoal por níveis de profundidade de análise; com a utilização de equipamentos de monitoração adequados; normas claras e atualizadas e um programa de manutenção planejada.

As Inspetorias Técnicas realizam o trabalho de campo juntamente com os navios, a capacitação do pessoal envolvido no processo está dividida em três diferentes níveis de análise:

Analista Nível I – Executado pelo pessoal de bordo - Implementa o programa básico de manutenção preditiva dos equipamentos. Realiza análise básica para detectar problemas mecânicos e elétricos comuns em máquinas rotativas utilizando análise espectral, de acordo com o preconizado na Diretiva de Vibrações da DIRISNAV.

Analista Nível II – Pessoal lotado nas Inspetorias – Auxilia os Analistas Nível I na solução de problemas mais complexos, por meio de uma análise mais acurada e com equipamentos mais sofisticados.

Analista Nível III – Pessoal lotado nas Inspetorias – Auxilia os Analistas Nível II em um aprofundamento das pesquisas bem como na comparação e análise de bancos de dados com registros históricos de funcionamento do equipamento. Responsável pelo sistema de garantia de qualidade, utilizando análise de vibração antes e depois dos períodos de manutenção dos navios e submarinos.

### 3 – MANUTENÇÃO PREDITIVA NA MB

O Sistema de Manutenção Planejada adotado pela MB é o de manutenção preventiva, na qual alguns conceitos da manutenção preditiva são utilizados no controle de funcionamento de alguns equipamentos de máquinas.

#### 3.1 - Aspectos Históricos

Em 1996 a DEN iniciou um processo em que, mantendo o Sistema de Manutenção Preventiva, elaborou procedimentos voltados para o Sistema de Manutenção Preditiva. Dentro deste conceito foram desenvolvidos normas e procedimentos que permitiram a introdução do conceito de manutenção preditiva. Estes procedimentos se resumem nas seguintes normas, publicadas em JAN98 e voltadas para as FCN e CCI:

- a) ENGENALMARINST 16-04 Manutenção Preditiva - Procedimentos Relativos ao Acompanhamento do Estado dos Motores de Propulsão Principal (MCP) das Fragatas Classe Niterói e Corvetas Classe Inhaúma - Sistema de Análise de Tendência de Motores Diesel (ATEMDI);
- b) ENGENALMARINST 16-05 Manutenção Preditiva - Procedimentos Relativos ao Acompanhamento do Estado dos Motores de Propulsão Principal (MCP) das Fragatas Classe Niterói e Corvetas Classe Inhaúma - Sistema LUBE; e
- c) ENGENALMARINST 16-06 Manutenção Preditiva - Análise de Vibrações de Equipamentos Rotativos das Fragatas Classe Niterói e Corvetas Classe Inhaúma - Sistema SAVMAQ;

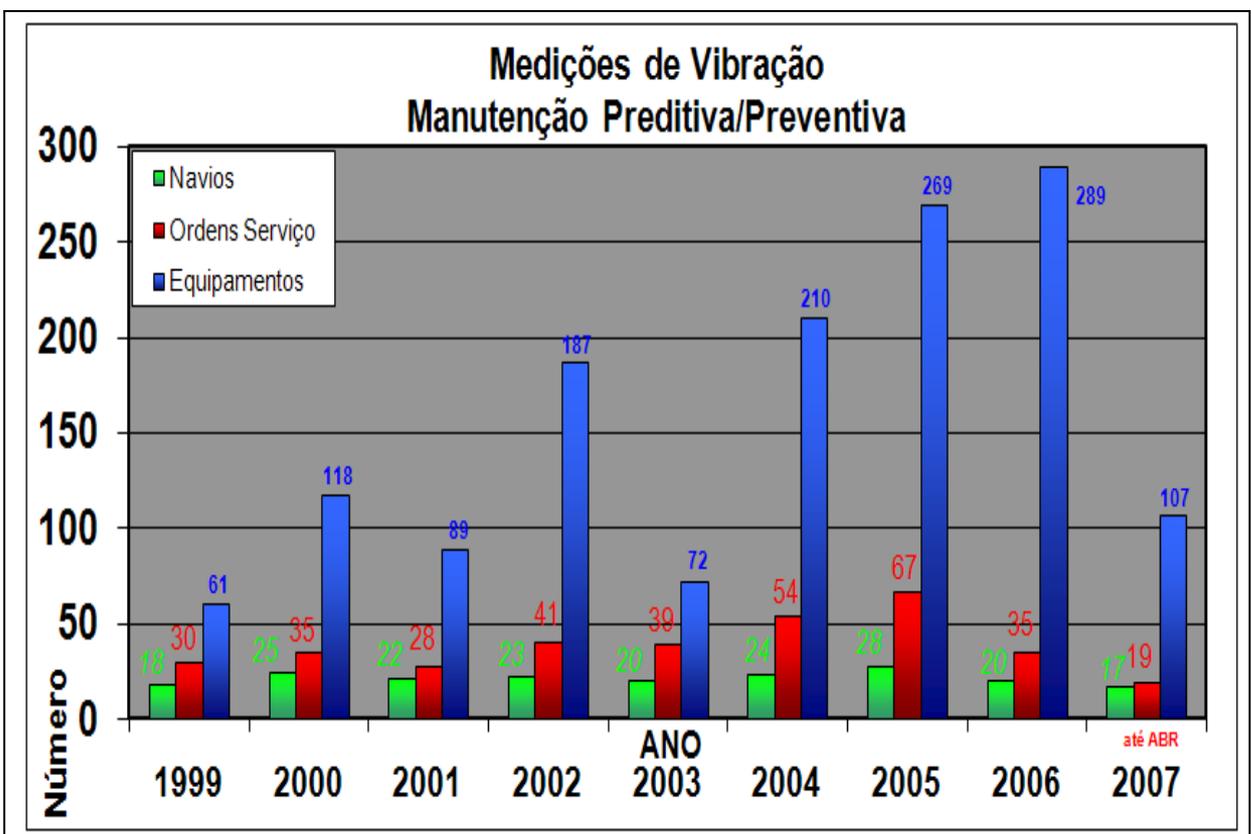
Na MB, diferentemente do ocorrido na Armada Chilena, os sistemas foram implantados independentemente (ATEMDI, LUBE e SAVMAQ) quando deveriam ser integrados e implementados de forma progressiva, iniciando pelo SAVMAQ e com os avanços obtidos, introduzir os outros sistemas.

Os primeiros resultados após a implementação destes sistemas foram positivos e serviram de parâmetro para a revisão das referidas INST. Ao longo dos anos, após o início da implantação que contemplava apenas as FCN e CCI, os sistemas foram sendo abandonados por falta de uma política de atualização tanto dos equipamentos de medição quanto dos programas de análise dos resultados obtidos. Nos três sistemas a análise era feita única e exclusivamente pelo pessoal de bordo, pouco qualificado para exercer especificamente essa atividade.

### 3.2 - Aspectos Técnicos

Com o projeto das CCI, foi montado na DEN a partir de 1985 um laboratório de Vibração e Ruído visando a “Avaliação de Engenharia” deste projeto nestas áreas sensíveis. Tal avaliação tinha como meta a verificação dos níveis de vibração e ruído a bordo em diversos pontos no caminho de propagação das fontes (equipamentos) até a água. Com isso foi possível avaliar individualmente (cada fonte) as distorções entre os níveis estimados durante o projeto e os níveis reais, tanto das fontes como dos caminhos de propagação.

Alguns dos instrumentos deste laboratório, a partir de 1989, começaram também a ser utilizados em medições de vibrações e ruídos de equipamentos e sistemas de navios e submarinos em operação da MB, visando dar apoio na sua manutenção “Preditiva”. Inicialmente as medições eram muito esporádicas, mas posteriormente com a criação do CPN em 1997 e a transferência deste laboratório da DEN para o CPN, foram se tornando constantes e cada vez mais numerosas. O gráfico abaixo dá uma idéia das referidas medições nos últimos 9 anos.



Tais medições, junto com as medições de “Avaliação de Engenharia” realizadas nas Corvetas Classe Inhaúma, Submarinos Classe Tupi e Tikuna e Navios Patrulha Classe Grajaú, formam um banco de dados imprescindível ao projeto de novos navios e submarinos.

As medições de vibração e ruído que visam dar apoio a manutenção preditiva de equipamentos e sistemas de navios e submarinos da MB, apesar de não constituírem o objetivo principal deste laboratório, que é o da “Avaliação de Engenharia”, tem contribuído de forma relevante para a manutenção preditiva de equipamentos e sistemas de navios da MB e com isso diminuindo custos e prazos de manutenção além de permitir maior confiabilidade destes equipamentos e sistemas. Entretanto, será tecnicamente correto e muito mais eficiente implantar um sistema de manutenção preditiva em que os próprios navios e submarinos façam suas medições com coletores portáteis, fazendo uma análise inicial e tomando suas decisões de manutenção preditiva. As bases que fazem a manutenção destes equipamentos também seriam dotadas de coletores para fazerem a garantia de qualidade de suas obras e finalmente o laboratório de vibração e ruído do CPN ficaria como estância superior para dirimir dúvidas e realizar medições mais complexas.

#### **4 – ANÁLISE DA ESTRUTURA CHILENA**

A estrutura chilena, baseada em documentação própria emitida pela sua “Diretoria de Engenharia”, trabalha com a seguinte sistemática:

a) Os Navios realizam medições rotineiras dos níveis de vibração dos equipamentos com coletores de vibração próprios, tomando decisões de manutenção preditiva;

b) As Bases realizam medições dos níveis de vibração dos equipamentos, com coletores de vibração próprios, de modo a atender os requisitos limites de vibração durante manutenção solicitada pelos navios e submarinos nestes equipamentos;

c) As Inspetorias de Engenharia realizam medições dos níveis de vibração dos equipamentos, com coletores de vibração próprios, de modo a fazer a “Garantia de Qualidade” de forma adequada e permanente de todos os reparos e manutenções realizadas pelas bases e estaleiros;

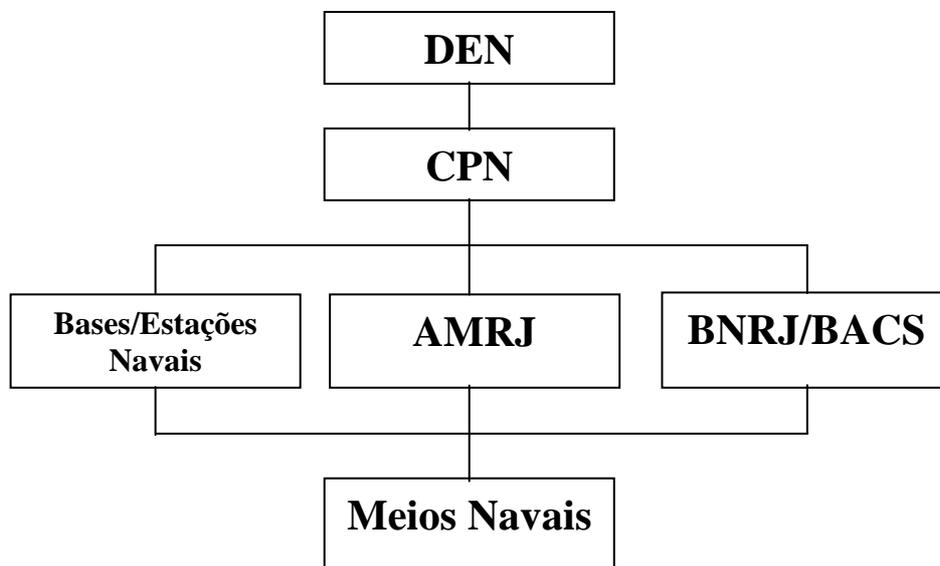
d) A “Diretoria de Engenharia” normatiza, fiscaliza, coordena e gerencia a manutenção preditiva na Marinha Chilena.

## 5 – PROPOSTA DE ESTRUTURA PARA A MB

Os procedimentos empregados pela Armada do Chile na organização e gerenciamento da manutenção preditiva poderão ser aplicados na MB com algumas adaptações, desde que sejam tomadas medidas para investimento, organização e gerenciamento em determinadas áreas.

O GT propõe as seguintes medidas para implantação de um Sistema de Gerenciamento da Manutenção Preditiva, com ênfase inicialmente na análise de vibração, oferecendo o mínimo de modificações na estrutura atual da MB:

### a) Organograma de Subordinação Técnica



Atribuições:

i – DEN – Estabelece a política de Manutenção Preditiva

ii – CPN – Analista de Nível III

iii – Bases/Estações Navais – AMRJ – Analistas de Nível II (Inspetorias Técnicas)

iv – Meios Navais – Analistas de Nível I;

b) Estabelecer normas e procedimentos para a Manutenção Preditiva – DEN;

c) Efetuar as adaptações necessárias nas rotinas de SMP dos equipamentos – DEN;

d) Especificar/elaborar cursos de qualificação e treinamento de pessoal nos três níveis – DEN/CPN;

e) Estabelecer divisões ou seções nos Departamentos Industriais das Bases/Estações Navais e AMRJ com serviço dedicado à manutenção preditiva (Inspetoria Técnica) – Bases/Estações Navais e AMRJ;

- f) Especificar e quantificar equipamentos de medição e “software” para cada um dos três níveis – CPN;
- g) Estabelecer quantitativo de pessoal especializado para cada um dos três níveis – DEN/CPN

## 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As propostas contidas neste relatório foram concebidas com base em rigorosa análise técnica e exaustivos debates entre os componentes do GT, e têm como propósito fornecer uma visão clara dos benefícios que a manutenção preditiva, no tocante à análise de vibração, pode trazer aos meios da MB no sentido de aumentar a confiabilidade no funcionamento e reduzir os custos em reparos e indisponibilidade de equipamentos.

Cabe ressaltar que apesar do sistema de manutenção adotado atualmente pelos navios da MB seja a manutenção preventiva, e que com o atual ciclo operativo dos navios onde o espaço temporal entre os PMG ultrapassa os 10 anos, em detrimento dos 4 anos, em média, programados para o referido ciclo, de acordo com cada Classe de navio. Conclui-se que na maioria dos equipamentos de máquinas as horas de funcionamento já foram atingidas ou o equipamento avariou-se, tornando as revisões mais custosas e demoradas e, s.m.j. nestes casos observa-se que o sistema de manutenção em “vigor” é o da manutenção corretiva.

---

CMG **GERSON LUIZ RODRIGUES SILVA** (DGMM)

---

CF **ANTONIO NUNES MARTINS NETO** (DGMM)

---

CC (EN) **ANDRÉ LUIZ BRAUCKS VIANNA** (AMRJ)

---

ETM **ROBERTO BLANCO DOMINGUEZ** (DEN)

---

ETM **CELSO DI DOMENICO** (CPN)

**GERSON LUIZ RODRIGUES SILVA**  
Capitão-de-Mar-e-Guerra  
Gerente de Manutenção de Máquinas e Estrutura  
**ASSINADO DIGITALMENTE**

## **ANEXO B – Informações sobre atribuições das organizações na manutenção preditiva pela análise de vibração e outros parâmetros**

(este texto faz parte do anexo G do relatório RLT-073-NRL-048 – Relatório de Representante - Intercâmbio com a Armada do Chile – ago 2008)

Os Procedimentos com atribuições das organizações (navios, bases, estaleiros e OM Técnicas) envolvidas na construção, condução, manutenção e fiscalização de equipamentos e sistemas de navios e submarinos, com relação a manutenção preditiva pela análise de vibração e outros parâmetros deverão conter as seguintes diretivas:

a) O pessoal envolvido na medição e análise de vibração das diversas OM deverá possuir a seguinte qualificação:

- i) Navios e Submarinos - Nível I;
- ii) Bases e Estaleiros – Nível I e II;
- iii) Inspetorias da DEN – Nível I e II;
- iv) DEN e CPN – Nível II, III e IV.

b) As atribuições são as seguintes:

- i) Navios e Submarinos – Farão medições trimestrais (ou em períodos especiais) de vibração de todos os equipamentos rotativos e alguns alternativos com medidores de nível global. Estes resultados darão subsídios para a programação da manutenção dos equipamentos. No retorno da manutenção os equipamentos serão medidos para fazer a Garantia de Qualidade da manutenção. Caso haja dúvidas, a Inspetoria da DEN, que acompanha o processo, irá dar seu parecer, medindo ou não novamente o equipamento;
- ii) Bases e Estaleiros – Farão medições de vibração (de bancada) toda vez que terminar a manutenção de equipamento, para garantir a sua manutenção;
- iii) Inspetorias da DEN – Farão medições tanto de níveis globais (máquinas rotativas), como espectrais (outros tipos: redutoras, diesel, eixos propulsores) em equipamentos de navios e submarinos em construção, modernização ou manutenção, fazendo a Garantia de Qualidade;
- iv) DEN – Será responsável por toda a normatização do assunto e por solução de dúvidas técnico gerenciais ligadas a manutenção preditiva;
- v) CPN – Dará o suporte técnico à DEN para as atividades Técnicas relacionadas as medições e análise de vibração visando a manutenção preditiva de equipamentos, inclusive realizando medições e análises de vibração de equipamentos mais complexos (redutoras, eixos propulsores, etc.) em que forem necessárias técnicas mais avançadas desta área ou as OM envolvidas tiverem dúvidas das causas das vibrações;

c) Outras informações ou dúvidas sobre: inter-relação e subordinação técnica das diversas OM, limites de vibração para aceitação ou reprovação dos mais diversos equipamentos, número de técnicos por OM, etc.; estão disponíveis nas palestras proferidas na DIRISNAV (apêndices D e E) ou poderão ser obtidas diretamente com o Eng. Celso Di Domenico (CPN 234 → 2178-6527).

Todas estas informações poderão servir na orientação e elaboração dos próprios procedimentos e normas a serem empregados na MB.

## ANEXO C – Cartão de Manutenção (1º Escalão) para medição de vibração dos Grupos Diesel-Geradores do NE Brasil

<b>CARTÃO DE MANUTENÇÃO DE 1º ESCALÃO</b>		NAVIO: NE BRASIL	
NO. DE REFERÊNCIA NO SMP: 140101	IDENTIFICAÇÃO DA ROTINA: 2MI	CONDIÇÃO DO NAVIO: SEM RESTRIÇÃO	
GRUPO: GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA		SISTEMA: GERAÇÃO DE ENERGIA	
SUBSISTEMA: GRUPO DIESEL-GERADOR			
MANUTENÇÃO ASSOCIADA:		ESPEC.	TEMPO
		EL/B	30 minutos
ROTINA: MEDIÇÃO, REGISTRO E ACOMPANHAMENTO DA VIBRAÇÃO AUTO-EXCITADA DO CONJUNTO MCA/GERADOR ELÉTRICO		<b>DURAÇÃO DA ROTINA:</b> 2 H	

### 1 - INFORMAÇÕES INICIAIS:

- 1.1- A presente rotina estabelece as condições iniciais para a monitoração do nível global de vibração medido.
- 1.2- O conjunto a ser medido deverá estar em funcionamento a, pelo menos, 1 (um) minuto a fim de entrar em regime antes desta rotina ser executada.
- 1.3- Antes de medir o nível de vibração global, deverá ser observado se os parâmetros de funcionamento do conjunto (rotação, potência, vazão, pressão de descarga, amperagem etc.) estão em seu valor nominal de operação.
- 1.4- A periodicidade para a execução deste procedimento é de 2 (dois) meses, podendo ser postergada por um período máximo de mais 15 (quinze) dias.

### 2 - DOCUMENTO DE REFERÊNCIA

- 2.1- ENGENALMARINST No. 05-12 - Medição e Análise da vibração Auto-Excitada de Equipamentos Rotativos ou Alternativos.

### 3 - PRECAUÇÕES DE SEGURANÇA

- 3.1- Ter atenção quando da realização deste procedimento pois o equipamento estará em funcionamento e energizado. Atenção especial deve ser dada ao contato com partes girantes ou em movimento.

### 4 - FERRAMENTAS E RECURSOS DE APOIO

- 4.1- Medidor de Vibração Digital modelo ITMV-690 fabricado pela INSTRUTEM ou similar.

### OBSERVAÇÃO:

Para a execução desta rotina poderá ser utilizado qualquer medidor de vibração que atenda a norma ISO 2954, tendo sensor com base magnética ou haste para a medição da vibração em velocidade.

### 5 - PROCEDIMENTO

- 5.1- Registrar no Formulário de Teste os parâmetros nominais de operação (rotação, potência, vazão, pressão de descarga, amperagem etc.) do conjunto sob teste, que deverão ser colocados quando da medição de vibração.
- 5.2- Desenhar no Formulário de Teste um croqui do conjunto sob teste.

NAVIO: NE BRASIL	NO. REF. SMP 140101	IDENTIFICAÇÃO DA ROTINA 2MI
------------------	------------------------	--------------------------------

5.3- Definir os pontos de medição. Estes pontos deverão estar localizados em todos os mancais acessíveis do equipamento, ou, caso os mancais estejam inacessíveis, sobre estruturas, as mais rígidas possíveis, que estejam diretamente em contato com os mancais.

5.4- Indicar no croquis do Formulário de Teste os pontos de medição definidos para o conjunto.

**OBSERVAÇÃO:**

As direções de medição deverão ser, sempre que possível, a direção axial e as direções radiais na vertical e na transversal ao eixo do equipamento.

5.5- Conectar a haste de medição ao medidor de vibração.

5.6- Ligar o medidor de vibração.

5.7- Verificar a calibração do medidor para a velocidade de 50 mm/s (160 Hz).

5.8- Apoiar a haste no ponto de medição escolhido, segurando-a firmemente.

5.9- Fazer a leitura do nível de vibração global, indicado no "display" digital do medidor de vibração, e anotar no Formulário de Teste o valor médio observado durante 10 segundos.

5.10- Após a realização de pelo menos 3 medições, representar sob a forma de uma curva, o gráfico de tendência da vibração no tempo, do conjunto, a fim de facilitar avaliações sobre uma eventual degradação dos equipamentos ao longo do tempo.

**OBSERVAÇÃO:**

Além das anotações feitas no Formulário de Teste, deverão ser anexados, quando aplicável, os comentários e observações, constantes do "livro-borrão", sobre avarias e falhas identificadas e/ou sanadas pelo pessoal de manutenção e suas respectivas datas de ocorrência.

5.11- Analisar, de uma maneira preliminar, os resultados obtidos considerando os valores constantes nas normas VDI-2056 e ISO-2372, conforme mostrado na tabela abaixo.

POTÊNCIA DO MOTOR (kW)	GRUPO DE EQUIPAMENTOS		NÍVEIS DE AVALIAÇÃO (mm/s RMS)			
	VDI-2056	ISO-2372	BOM (menor que)	SATISFATORIO	RUIM	INACEITÁVEL (maior que)
até 15	K	I	0,7	0,7 a 1,8	1,8 a 4,5	4,5
de 15 a 75	M	II	1,1	1,1 a 2,8	2,8 a 7,1	7,1
mais que 75 (montagem Rígida)	G	III	1,8	1,8 a 4,5	4,5 a 11,0	11,0
mais que 75 (montagem flexível)	T	IV	2,8	2,8 a 7,1	7,1 a 18,0	18,0

5.12- Caso os níveis de vibração medidos se situem na faixa correspondente à coluna inaceitável, cumprir a rotina "Revisão Geral" (PMG) correspondente, caso o motor elétrico possua uma potência inferior a 15 kW. Para equipamentos com potência acima de 15 KW pode-se solicitar apoio de 2º escalão para realizar uma análise espectral de vibração a fim de melhor avaliar a causa e orientar a sua manutenção.

NAVIO: NE BRASIL	NO. REF. SMP 140101	IDENTIFICAÇÃO DA ROTINA 2M1
------------------	------------------------	--------------------------------

**FORMULÁRIO DE TESTE DE VIBRAÇÃO**

**1- DADOS DO EQUIPAMENTO:**

- 1.1- NOME = \_\_\_\_\_
- 1.2- ROTAÇÃO DE OPERAÇÃO(RPM) = \_\_\_\_\_
- 1.3- CONDIÇÃO DE CARGA = \_\_\_\_\_

**2- INSTRUMENTAÇÃO DE MEDIÇÃO:**

- 2.1- NOME = \_\_\_\_\_
- 2.2- FAIXA DE FREQUÊNCIA = \_\_\_\_\_
- 2.3- PARÂMETRO DE MEDIÇÃO = \_\_\_\_\_

**3- PONTOS DE MEDIÇÃO**

CROQUIS	CURVA									
	mm/s (RMS)									
Nº. da → medição										

**4- DADOS DE MEDIÇÃO (Valores em mm/s (rms))**

Pos.	Data →									
A	RH									
	RV									
	A									
B	RH									
	RV									
	A									
C	RH									
	RV									
	A									
D	RH									
	RV									
	A									
E	RH									
	RV									
	A									

ANEXO D – Cartão de Manutenção (1º Escalão) para medição de vibração da Bomba de Incêndio das FCG

WMS 1A-REVISED 3/07

**PERFORMANCE AND SERVICING RECORD**

Unit: F-46 Period: # 2002 Page No: Grupo 230

Equipment/Ident: Bel-PT 90HP/440V Make/Model: \_\_\_\_\_

Location: Comp. Motor da Freigotica Make/Model: \_\_\_\_\_

PROG/PHASE: 2002 2003 2004

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2002																															
2003																															
2004																															
2005																															
2006																															
2007																															
2008																															
2009																															
2010																															
2011																															
2012																															
2013																															

FEITO PELO EL DE SVC

22-M-11 14:37

Organizational Performance and Servicing Schedule Form

BN FRAGATA GREENHALGH  
Equipment Log

3-4838 0500 HAMMERTON SOLVENT PUMPS

TO UNIT	LOCATION	REF	JOB	REF DESCRIPTION	PERIOD	STATUS	DATE
1146 010	002	REF No. 5-3111-0000		ELECTRIC MOTORS 40			
MOTOR 30 50HP 440V 40 0PH 0002				ITEM LOCATION			
MOTOR 30 50HP 440V 40 0PH 0002/0000PM				REFRIG MCT & PUMP BRADY			
002	002	REFRIG MCT & PUMP 012/0M14		Take vibration readings and record in Equipment Log			
002	002	REFRIG MCT & PUMP 002		Inspect condition of motor. Check security of Fan M and coupling guards along with their associated fixings on all motors			

Take vibration readings and Record in equipment Log

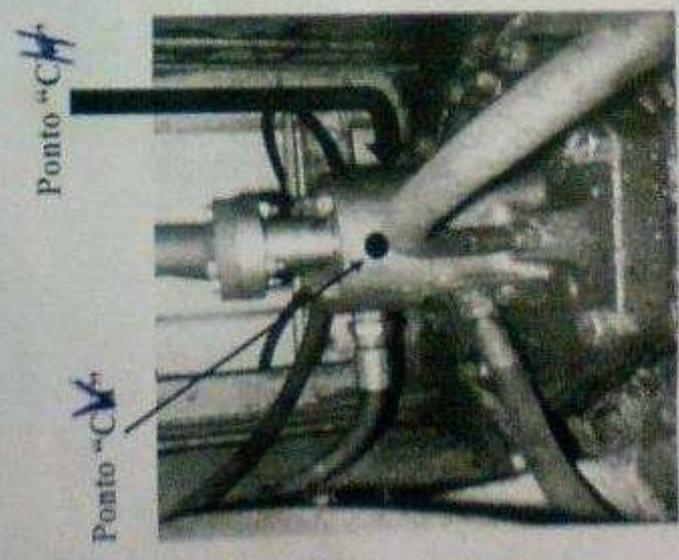
22-Jul-11 14:38

MMS1 Section ME Issue 30/10/95

Page No : 1



ILUSTRAÇÃO DOS PONTOS A SEREM MEDIDOS NO CORPO DO MOTOR ELÉTRICO E DA BOMBA DE INCÊNDIO.



## ANEXO E – Instrumentação de medição de vibração das FCG



Medidor de vibração Original das Fragatas Classe Greenhalgh – Obsoleto/Avariado –  
Mechanalysis IRD 820M



Novo Medidor de Vibração adquirido pela Fragata  
Greenhalgh no Brasil – Instrutemp MV-670

**ANEXO F – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría I - Universidad  
Concepción – Chile**



**Departamento de  
Ingeniería Mecánica**

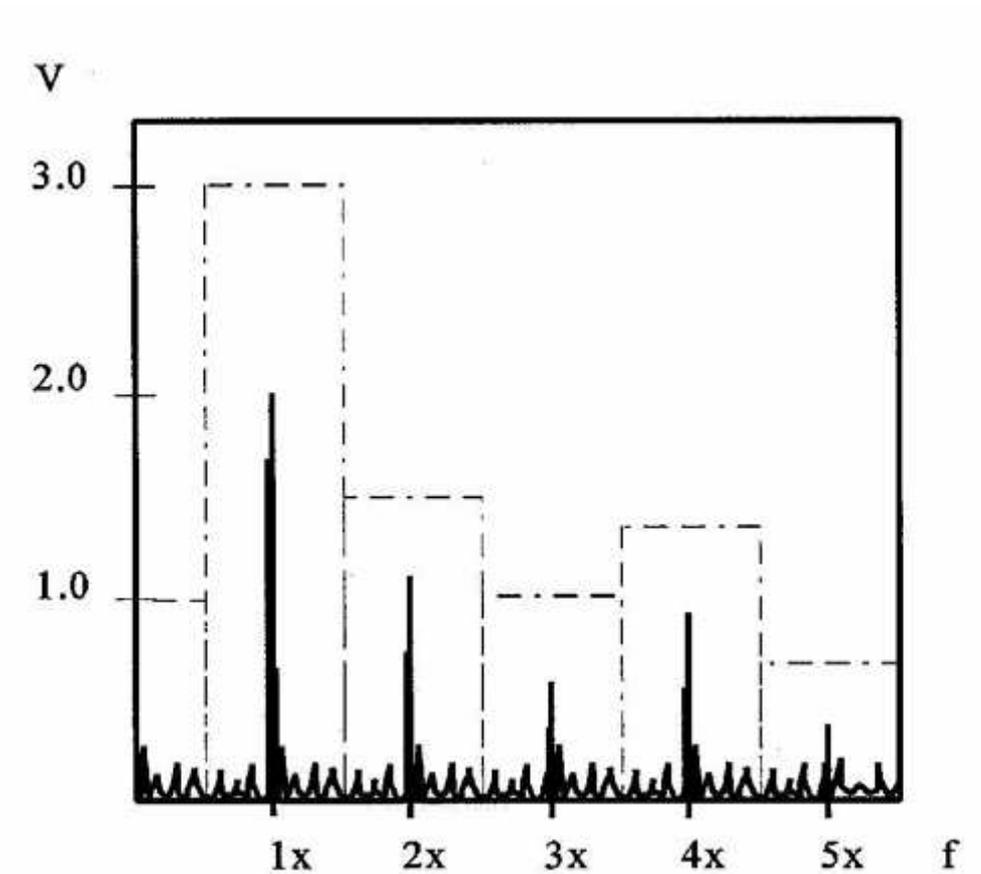
**CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES  
DE MÁQUINAS - CATEGORÍA I, ISO 18436-2**

Fechas: Abril 15, 16, 17, 18 de 2008  
Septiembre 30, octubre 1, 2 y 3 de 2008  
Duración: 32 horas (4 días)  
Lugar: Hotel Diego de Almagro (F: 6726002)  
Salón San Martín  
Alameda 1485 (Alameda con San Martín – Metro Moneda)  
Santiago  
Relator: Dr. Pedro Saavedra G.  
Horario: 08:30 - 12:30 horas  
14:00 - 18:00 horas  
Código Sence: **N°12-37-7419-59**  
Costo total: \$520.000.-  
Informaciones: Srta. Clara Muñoz S.  
Inscripciones: **Laboratorio de Vibraciones Mecánicas**  
[www.dim.udec.cl/lvm](http://www.dim.udec.cl/lvm)  
Fono: 56-041-2204327  
Fax: 56-041-2251142  
email: [clarmuno@udec.cl](mailto:clarmuno@udec.cl)  
Casilla: 160-C  
Concepción

**Notas:**

1. El curso está limitado a un número de participantes. Por tal motivo se recomienda efectuar la inscripción con 5 días de anticipación.
2. Las personas que quieran REPETIR el examen para certificación de las categorías I, II, III, lo pueden hacer los días 18 de abril, 13 de junio, 08 de agosto, 03 de octubre, 28 noviembre. En horario de 16.00 a 18.00, previa inscripción con 10 días de anticipación. Valor del examen **\$50.000.-**

## ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS



### CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA I, ISO 18436-2

Relator: Dr.-Ing. Pedro Saavedra G.

#### OBJETIVOS.

Este curso teórico-práctico está centrado en proveer un comprensivo conocimiento a sus participantes con el objeto que puedan obtener las siguientes capacidades:

- Evaluar la severidad vibratoria de algunas máquinas en base a las vibraciones medidas, utilizando normas internacionales.
- Aprender a detectar, antes que una falla costosa ocurra, problemas mecánicos y eléctricos comunes en máquinas rotatorias, utilizando el análisis espectral.
- Aprender a implementar un programa básico de mantenimiento predictivo.

El curso, el libro de contenidos y el examen de certificación son genéricos a todos los equipos y programas de manejo de datos comerciales: CSI, SKF, IRD, DLI.

#### EXAMÉN DE CERTIFICACIÓN.

Este curso incluye un examen escrito, sin apuntes y de dos horas de duración, para los participantes que quieran obtener un certificado de "Analista de vibraciones Categoría I", sin apuntes y de dos horas de duración, de acuerdo a ISO 18436-2. Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están certificados para realizar rutas de mediciones de vibraciones pre-establecidas y diagnosticar a través del análisis espectral algunos problemas comunes en máquinas rotatorias.

## **PRERREQUISITOS.**

El participante al curso debe tener experiencia previa en el mantenimiento de algunos tipos de máquinas como ser: bombas centrífugas, ventiladores, cajas de engranajes, motores de inducción, transmisiones por correa. Si desea aprobar el examen, es conveniente tener alguna experiencia en la medición de vibraciones en máquinas.

## **CONTENIDOS.**

### **1. Introducción a los sistemas de mantenimiento.**

Mantenimiento reactivo, preventivo, predictivo, proactivo. Mantenimiento centrado o basado en confiabilidad. Como efectuar un adecuado balance entre los diferentes sistemas de mantenimiento.

### **2. Conceptos básicos de vibraciones mecánicas.**

- ¿Qué es la vibración mecánica y como puede ser usada para evaluar la condición mecánica de una máquina o estructura?.
- ¿Qué es la forma de la vibración o de la onda en el tiempo?. Período y frecuencia. Amplitud o magnitud de la vibración : pico, pico a pico, RMS. Unidades de medición y conversión de unidades.
- Dominios tiempo y frecuencia. ¿Qué es el espectro de una vibración?.
- Modelo masa – resorte, rigidez, frecuencias naturales, resonancias.
- Formas de ondas y espectros de vibraciones que generan las máquinas. Vibraciones periódicas y no periódicas.

### **3. Adquisición de datos y procesamiento de la señal.**

- Composición de una cadena de medición.
- Tipo de transductores: de desplazamiento con y sin contacto, de velocidad, de aceleración. Diferentes tipos de acelerómetros: de uso general, de baja frecuencia, de altas frecuencias, de montaje permanente. Formas de montaje del sensor. Selección del sensor más adecuado a la aplicación.
- Recolector-analizador digital de datos. Modo analizador: ¿Cómo seleccionar rango de frecuencias, resolución en frecuencia, número de promedios?. Recolección de datos. Configuración de una base de datos. Evaluación de la línea base y tendencias.

**4. Evaluación de la severidad vibratoria en diferentes tipos de máquinas.** ¿Qué valor de la vibración es peligroso para una máquina o una estructura? ¿Qué significa un nivel vibratorio bueno, aceptable o inaceptable? ¿Se debe detener de inmediato la máquina o puede esperar a una fecha programada?.

- Aplicaciones de las normas internacionales ISO y VDI para evaluar severidad vibratoria en máquinas:
- \* ISO 2372, ISO 10816-3: Máquinas en general con velocidad de operación entre 2.5 y 250 (rev/s).
- \* ISO 7919: Máquinas rotatorias con mediciones en el eje.

### **5. Análisis espectral o frecuencial para diagnosticar las fallas más comunes en máquinas rotatorias.**

- ¿Cómo analizar un espectro vibratorio?. ¿Qué cosas buscar en él?. Componentes sincrónicas, armónicas, subarmónicas, no sincrónicas, bandas laterales.
- Desbalanceamiento de rotores
- Desalineamiento paralelo, angular y combinado.
- Distorsión de la carcasa. Causas más comunes que distorsionan la máquina.
- Resonancia.
- Vibraciones en correas: daño en las correas, desgaste de poleas, poleas desalineadas, resonancia de la correa, poleas excéntricas.
- Vibraciones generadas en turbomáquinas (bombas, ventiladores, compresores centrífugos): pulsaciones de presión normales y anormales, cavitación, turbulencias, desprendimiento (stall), desbalanceamiento hidráulico.

## **6. Balanceamiento de rotores rígidos en un plano.**

- Rotores rígidos y flexibles.
- ISO 1940; ANSI S2.19: Requerimiento de la calidad de balanceamiento de rotores rígidos.
- Determinación del número de planos requeridos en el balanceamiento y del desbalanceamiento residual permisible.
- Métodos de balanceamiento en terreno: Método de los coeficientes de influencia y método sin medición de fase de la vibración.
- Cuando es aceptable balancear un rotor que trabaja a alta velocidad en una máquina balanceadora a baja velocidad.

## **7. Determinación de la condición mecánica de los rodamientos.**

- Determinación de las frecuencias indicativas de falla.
- Detección de daño en la jaula, pistas y elementos rodantes mediante el análisis espectral y el análisis de la energía de la aceleración en bandas espectrales a alta frecuencia.
- Detección de otros tipos de fallas: rodamiento suelto en su alojamiento, desgaste de pistas y elementos rodantes, paso de corriente eléctrica a través de él, daño del canastillo.

## **8. Determinación de la condición mecánica de los engranajes.**

- Vibraciones normales en engranajes. Cálculo de las frecuencias de engrane.
- Detección de las fallas más comunes en ellos: Desgaste en los dientes, dientes rotos o descascarados, engranajes sueltos o montados excéntricos, engranajes con excesivo backlash, engranajes desalineados, engranajes con ejes flectados.

## **9. Determinación de la condición mecánica de motores eléctricos de inducción.**

- Vibraciones normales en motores de inducción. Frecuencia de paso de las ranuras.
- Diagnóstico de problemas que se traspasan entre el personal mecánico y el eléctrico: excentricidad estática y excentricidad dinámica; incluyendo laminaciones y espiras en corto, barras y anillos extremos rotas o agrietadas, corrientes desbalanceadas.

## **10. Análisis de casos históricos.**

Los participantes analizan espectros tomados en máquinas reales para detectar, diagnosticar problemas vibratorios en algunos tipos de máquinas.

### **METODOLOGÍA.**

Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

### **ORIENTADO A.**

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas, ingeniería y solución de problemas vibratorios.

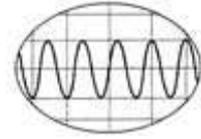
### **RELATOR. DR-ING. PEDRO SAAVEDRA GONZÁLEZ**

Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (Paris – Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas. Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO El Teniente, ASMAR Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Compañía de Acero del Pacífico, Compañía Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, Cementos Avellaneda Argentina, etc.

**ANEXO G – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría II - Universidad  
Concepción – Chile**

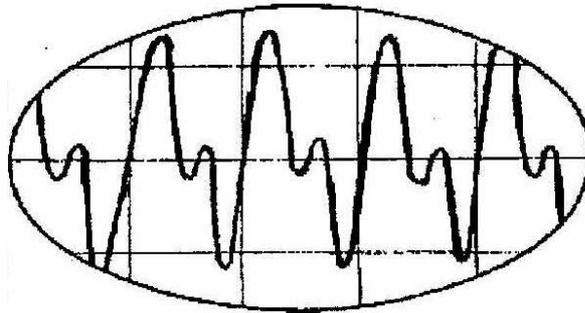


**Universidad  
de Concepción**



LABORATORIO DE VIBRACIONES MECANICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
<http://www.dim.udec.cl/lvm/>

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS**



**CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA II, ISO 18436-2  
Relator: Dr.Ing. Pedro Saavedra G.**

**OBJETIVO.**

Este curso teórico-práctico está centrado fundamentalmente en capacitar a los participantes en la detección y diagnóstico de los problemas más comunes que se generan en una gran variedad de máquinas rotatorias, usando integralmente las capacidades de los analizadores de vibraciones comerciales de un canal (recolector de datos).

El objetivo final es poder discriminar un problema específico de otros que presentan síntomas similares.

El curso entrega además, conocimientos sobre el uso de todas las capacidades de un recolector de datos (analizador de vibraciones de un canal), fundamentos de dinámica vibratoria y de diferentes técnicas de diagnóstico.

El curso, el libro de contenidos y el examen de certificación son genéricos a todos los equipos y programas de manejo de datos comerciales (CSI, SKF, IRD, DLI).

**EXAMEN DE CERTIFICACIÓN.**

Este curso incluye un examen escrito, sin apuntes de dos horas de duración, para los participantes que uieran obtener un certificado de “Analista de vibraciones categoría II”, de acuerdo a ISO 18436-2. Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están calificados para configurar mediciones con un analizador de un canal y para realizar análisis de vibraciones básicos de máquinas y componentes tales como ejes, rodamientos, engranajes, ventiladores, bombas centrífugas y motores de inducción.

**PRERREQUISITOS.**

Para aprobar el examen de certificación, Analista de vibraciones categoría II, es conveniente, aunque no es prerequisite, haber aprobado el examen de Analista de Vibraciones categoría I. El candidato debe tener y proveer evidencia, de una experiencia en terreno de al menos un año y medio.

## CONTENIDOS.

### 1. Principios de vibraciones mecánicas.

- Forma de onda y fase de las vibraciones. Formas de medir la fase de la vibración. ¿Cuándo utilizar desplazamiento, velocidad y aceleración?
- Cálculo de la frecuencia natural en sistemas de un grado de libertad.
- Aplicación de la medición de frecuencias naturales para detectar algunos problemas en máquinas y estructuras.
- ¿Qué es amortiguamiento?. ¿Cómo se puede medir con un recolector de un canal?. ¿Cuándo es necesario agregar amortiguamiento?.
- Vibraciones forzadas. Funciones respuestas. Zonas resonantes.
- Criterios para determinar cuando rigidizar, flexibilizar, agregar masa o amortiguamiento a una estructura.

### 2. Uso de Todas las Capacidades de un Recolector Analizador de Vibraciones de un Canal: CSI, SKF, DLI, Bentley Nevada u otro.

- Criterios para seleccionar los parámetros básicos en el análisis espectral: Número de líneas, rango de frecuencias, resolución en frecuencias, zoom, tipo de escala (lineal, logarítmica, decibeles). Importancia del ancho de banda en el análisis espectral.
- Como funciona un analizador digital. Forma de digitalizar la señal. Transformada discreta de Fourier. Análisis en tiempo real. Problemas y soluciones en el análisis digital: Aliasing, fugas laterales, efecto rendija.
- Selección del tipo de ventana a utilizar: Uniforme, Hanning o Flat Top.
- Formas de promediar espectros: Lineal, exponencial, "peak hold". Como seleccionar el tipo y número de promedios.
- Formas de "trigger" (disparo). Modo "free-run". Usos.
- Efecto del proceso de traslapo (overlap). Selección del % de traslapo.
- Rango dinámico de un recolector de datos. Importancia del número de bits.
- Zoom real versus expansión de la escala de frecuencias.
- Ensayos de impacto básicos para determinar frecuencias naturales.

### 3. Técnicas del Análisis Vibratorio.

Uso de las diferentes técnicas de un analizador de vibraciones de un canal (recolectores de datos) para diagnosticar problemas en máquinas vibratorias.

3.1. Análisis frecuencial. ¿Cómo analizar un espectro vibratorio?. ¿Qué buscar en él?. Order, armónicos, sub-armónicos, bandas laterales, vibraciones sincrónicas y no sincrónicas, modulaciones.

3.2. Análisis de la forma de la vibración en el tiempo. Como detectar modulaciones, pulsaciones, impactos, asimetrías, periodicidades. Problemas detectables en el dominio tiempo y ocultos en el análisis espectral. Problemas para los cuales el análisis en el dominio tiempo ayuda a confirmar el diagnóstico realizado con el análisis frecuencial.

3.3. Análisis de fase. Como interpretar la fase de la vibración. Como el análisis de fase permite diferenciar entre fallas que presentan el mismo espectro vibratorio.

3.4. Introducción al análisis de promedios sincrónicos en el tiempo. Definición. En qué consisten y para qué sirven. Instrumentación requerida. Uso para distinguir entre diferentes problemas en engranajes y para analizar vibraciones a la frecuencia del paso de álabes en turbomáquinas. Uso para separar vibraciones provenientes de diferentes ejes.

Análisis de modulaciones o análisis de los espectros de la envolvente. Que son y como son generados. Como son usados para detectar problemas en rodamientos, engranajes, lubricación y pulsaciones de presión en turbomáquinas. Como seleccionar el filtro a utilizar y los valores de alarma y peligro. Uso para detectar en forma incipiente algunos problemas en máquinas de baja velocidad. Características de los sensores requeridos.

3.5. Introducción al análisis de vibraciones en máquinas de baja velocidad. Como realizar el análisis. Características de los sensores requeridos. Ejemplos.

3.6. Análisis de la corriente eléctrica. Como realizar un análisis de la corriente eléctrica. Cartas de evaluación de su severidad. Aplicación en la detección de problemas eléctricos en motores de inducción: evaluación del estado de las barras y anillos extremos en motores de jaula de ardilla.

#### **4. Monitoreo de la condición o estado de la máquina. Análisis de normas de severidad vibratoria.**

- Monitoreo en línea y periódico. Monitoreo en tiempo real. Protección de máquinas. Diferentes tipos de alarma: valor global, bandas espectrales, envolvente del espectro. Tendencias. Selección de los valores de alarma. Evaluación del estado de la máquina.
- Análisis de normas ISO 10816-3 para evaluar la severidad vibratoria en máquinas rotatorias en general. Cuando medir y limitar el desplazamiento y/o la velocidad y/o la aceleración vibratoria. Especificación de valores de alarma y peligro para el desplazamiento, velocidad y aceleración vibratoria.

#### **5. Análisis Integrado Para el Diagnóstico de Fallas.**

- Como combinar las técnicas precedentes para diagnosticar y diferenciar entre diferentes tipos de fallas en máquinas rotatorias. Ejemplos históricos de aplicaciones a:
  - Problemas que pueden presentar espectros vibratorios similares (componentes a 1x, 2x y 3x rpm): Desbalanceamiento, desalineamiento de acoplamientos y de descansos, poleas excéntricas y/o desalineadas, ejes flectados, ejes agrietados, soldaduras mecánicas, cojinetes desgastados, carcasas distorsionadas, pata loja, rozamientos del rotor.
  - Problemas en rodamientos. Fallas normales y anormales en rodamientos. Detección de defectos en pistas de rodadura y elementos rodantes, falta o exceso de lubricación, juegos internos inadecuados, giro de la cubeta en el eje o alojamiento. Evaluación de la severidad del daño y criterios para determinar cuando deberían ser reemplazados.
  - Problemas en engranajes. Mediciones y análisis. Desgaste de dientes. Dientes rotos, backlash inadecuado, engranajes sueltos, excéntricos o desalineados. Problemas que crean frecuencias de engranes fraccionarias. Problemas de encuentro de dientes (hunting tooth).
  - Vibraciones en turbomáquinas generadas por el flujo: Fuerzas hidráulicas e hidrodinámicas. Cavitación. Llenado incompleto del impulsor (Starvation). Recirculación. Turbulencias. Bombeo. Estrangulación. Impulsores desgastados o distorsionados. Pulsaciones de presión.
  - Problemas eléctricos en motores de inducción. Problemas en el estator (Excentricidad estática, laminaciones en corto, carcasas distorsionadas). Rotores excéntricos, rotores fuera de su centro magnético, barras rotas, agrietadas o sueltas, curvatura inducida térmicamente, desbalance de fases, contactores sueltos, espiras o laminaciones en corto.

#### **METODOLOGÍA.**

Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

#### **ORIENTADO A.**

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas y solución de problemas vibratorios.

#### **RELATOR.**

DR.-ING. PEDRO SAAVEDRA G.

Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (París, Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas.

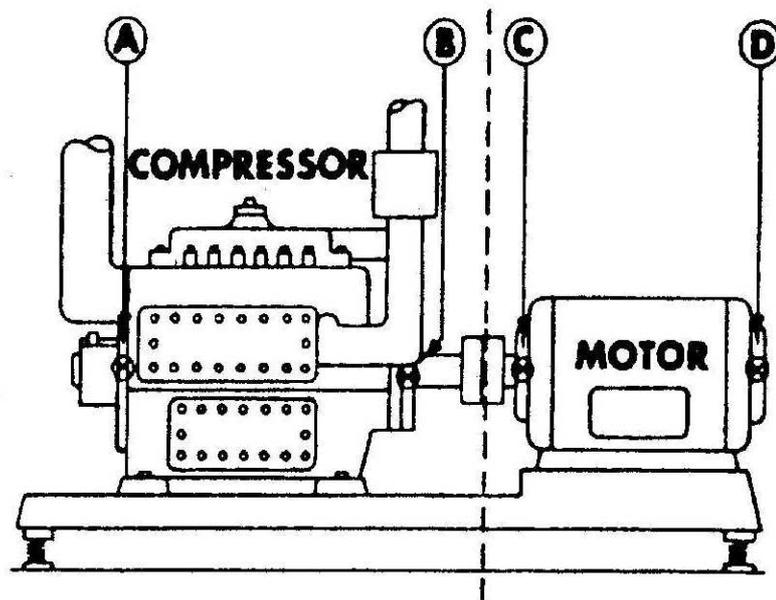
Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO - División Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO - División Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO - División El Teniente, ASMAR-Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Cía. Acero del Pacífico, Cía. Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, etc.

ANEXO H – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría III - Universidad  
Concepción – Chile



*Departamento de  
Ingeniería Mecánica*

**ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS**



**CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA III, ISO 18436-2**  
**Relator: Dr.Ing. Pedro Saavedra G.**

**OBJETIVO.**

Este curso teórico-práctico está centrado fundamentalmente en capacitar en profundidad a los participantes en el diagnóstico de la condición de cualquier tipo de máquinas. Con este objeto el curso entrega por un lado conocimientos avanzados de diferentes técnicas de diagnóstico y por otro lado entrega conocimientos sobre el funcionamiento de algunas máquinas rotatorias comunes, sus problemas que presentan y algunas soluciones tecnológicas actuales a ellos. Se entrega además, conocimientos sobre las capacidades de un analizador de vibraciones de varios canales en el diagnóstico de fallas en máquinas y una introducción a algunas técnicas usadas para reducir el nivel de vibraciones.

**EXAMEN DE CERTIFICACIÓN.**

La certificación es un examen escrito, sin apuntes, de cuatro horas de duración, adicional al curso para los participantes que quieran obtener un certificado de “**Analista de vibraciones categoría III de acuerdo a ISO 18436-2**”. Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están capacitados para realizar y analizar mediciones de vibraciones en máquinas utilizando

integradamente las técnicas que traen los analizadores de vibraciones comerciales. Esto incluye estar capacitado para establecer programas de monitoreo de vibraciones, especificar niveles de vibraciones y criterios de aceptación para máquinas nuevas, entender y dirigir el uso de técnicas complementarias a las vibraciones (ultrasonido, análisis de aceite, termografía), y recomendar acciones correctivas básicas para disminuir el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras.

### **PRERREQUISITOS.**

Para aprobar el examen de certificación de analista de vibraciones categoría III es conveniente haber aprobado el examen de categoría II y tener experiencia práctica en estas técnicas al menos de 3 años.

### **CONTENIDOS.**

#### **1. Conceptos de dinámica vibratoria.**

- Sistemas de un grado de libertad. Ecuación del movimiento. Uso y significado del factor de amortiguamiento. Vibraciones libres y forzadas. Funciones respuestas. Sistemas equivalentes de un grado de libertad.
- Conceptos básicos de rotodinámica. Descansos hidrodinámicos.
- Vibraciones paramétricas: desalineamiento con acoplamientos flexibles, ejes agrietados “barring” en máquinas papeleras.
- Introducción a las vibraciones torsionales.
- Cálculo de frecuencias naturales de vibrar de rotores montados entre descanso y en voladizo.

#### **2. Adquisición y procesamiento de señales.**

- Vibraciones aleatorias y pseudoaleatorias. Densidad espectral de potencia. Explicación del ruido propio de los acelerómetros. Disminución de la amplitud en el espectro con mejor resolución en frecuencia.
- Analizadores de vibraciones de dos canales.
- Ventajas de un analizador de vibraciones de dos canales respecto al de un canal en el diagnóstico de fallas y en la corrección de problemas.
- Potencia de una señal vibratoria.  $V_{RMS}$  digital y analógico.
- Densidad espectral de potencia.
- Medición de funciones respuestas. Excitadores (shakers) y martillos de impacto. Transductores de fuerza. Uso de las funciones de coherencia y las funciones de correlación en el diagnóstico de fallas.
- Casos históricos de aplicaciones para detectar el origen del ruido y vibraciones.

#### **3. Técnicas de diagnóstico avanzadas.**

**3.1** Análisis espectral avanzado. Como determinar las componentes espectrales que son normales en una máquina cualesquiera. Aplicación a rodamientos, bombas de lóbulos, motores Diesel, turbomáquinas con impulsores asimétricos, desalineamiento de acoplamientos flexibles.

**3.2** Análisis avanzado de la forma de onda. ¿Cómo analizar una forma de onda o vibración?.

Problemas que son detectados en el análisis de la forma de onda y no son aparentes en el espectro. Análisis de la forma de onda por bandas de frecuencia. Integración analógica versus la integración digital.

**3.3** Análisis de órbitas y de la posición del eje en el descanso. Instrumentación requerida.

Interpretación de diferentes tipos de órbitas. Interpretación de la posición del eje en el descanso. Aplicación al control del desgaste y de la inestabilidad en un descanso hidrodinámico. Ejemplos donde el análisis de órbitas presenta ventajas respecto a otros análisis: descansos precargados, rozamientos, resonancias.

**3.4** Técnicas para determinar las frecuencias naturales de vibrar de máquinas y estructuras.

- Ensayos de golpe (bump test). Como determinar los parámetros de configuración del equipo. Errores frecuentemente cometidos.
- Uso del “peak-hold”. Configuración del equipo
- Análisis de vibraciones partidas y paradas de máquinas. Interpretación de las mediciones.

- Medición experimental de las funciones respuesta.

**3.5** Análisis de vibraciones de máquinas de alta velocidad. Instrumentación requerida. Errores frecuentemente cometidos en el análisis de este tipo de máquinas. Ejemplo ilustrativo.

**3.6** Introducción al análisis de la forma de deflexión. (Deflection Shape Analysis, ODS). Definición del análisis de la forma de deflexión. Instrumentos y transductores requeridos.

Como ODS ayuda a detectar problemas que con las otras técnicas pueden pasar desapercibidos. Casos históricos usando ODS.

**3.7** Análisis de vibraciones en máquinas de muy baja velocidad. Instrumentación y técnicas requeridas. Errores frecuentemente cometidos en el análisis espectral de las vibraciones en este tipo de máquinas. Ejemplos ilustrativos. Utilización de los análisis Peak-Vue y SST (Slow Speed Technologie) de CSI y análisis de la envolvente y ULS(Ultra Low Speed) de SKF. Utilización de strain-gauges para analizar vibraciones en máquinas de muy baja velocidad (bajo 10cpm).

**3.8** Introducción al Análisis de vibraciones en máquinas de velocidad variable. Seguimiento de ordenes (order tracking) y transformadas tiempo-frecuencia. Instrumentación requerida y alternativas que ofrece el mercado. Como computarizar estas mediciones. Ejemplos ilustrativos.

**3.9** Normas de severidad vibratoria. Análisis en profundidad de las normas de severidad vibratoria en máquinas y estructuras.

#### **4. Introducción a técnicas de reducción de vibraciones.**

- Amortiguamiento como técnica para reducir las vibraciones. Diferentes formas de amortiguamiento. Cuando y como el amortiguamiento es efectivo para reducir las vibraciones. Casos históricos.

- Aislamiento de vibraciones y choques. Diferentes tipos de aisladores de vibraciones y como ellos funcionan. Como seleccionar un sistema aislador de vibraciones para evitar que se transmitan fuerzas dinámicas de una máquina a una estructura, o se transmitan vibraciones desde su base de sustentación a un instrumento, computador, o máquina. Ejemplos.

- Absorbedores de vibraciones. Como funcionan y cuando son efectivos. Ejemplos.

#### **5. Análisis de vibraciones avanzado y principio de funcionamiento en diferentes tipos de máquinas.** Diagnóstico de los problemas específicos que ellas presentan y sus soluciones.

- Bombas centrífugas horizontales. Principios de funcionamiento. Fuerzas radiales y axiales sobre el rodete y formas de equilibrarlas. Operación a flujo reducido. Problemas de operación y sus síntomas: Cavitación, recirculación, "stall", desgaste, pulsaciones de presión. Problemas de origen hidráulico. Ejemplos históricos.

- Motores eléctricos de corriente continua. Rectificación de la corriente. Problemas y soluciones. Ejemplos históricos.

- Engranajes. Teoría de funcionamiento. Superficies conjugadas. Tipos y usos de engranajes. Principales fallas en los dientes: Picado, "scoring", ruptura, desgaste, lubricación. Corrección del perfil de los dientes para disminuir el desgaste. Otros tipos de problemas y sus soluciones. Ejemplos históricos. Normas de calidad y normas de aceptación (severidad vibratoria) para los engranajes.

- Sistemas de transmisión de potencia. Funcionamiento y tipos de correas, cadenas, juntas universales. Efecto de la tensión y alineamiento, y desgaste de poleas. Frecuencias naturales en correas y como solucionar resonancias en ellas. Tipos de cadenas y vibraciones inherentes a su funcionamiento. Funcionamiento de juntas universales y vibraciones que generan: Vibraciones torsionales, inerciales, y por cupla secundaria.

- Otras máquinas. Molinos de barras y bolas, bombas verticales, compresores alternativos, agitadores, máquinas papeleras, motores Diesel, harneros vibratorios.

- Vibraciones generadas por un rotor con eje agrietado. Análisis espectral, análisis de la forma de onda, análisis de la fase de componentes, análisis de partidas/paradas. Sistemas comerciales utilizados para detectar el problema. Determinación de grietas analizando la variación de las frecuencias naturales. Ejemplos históricos.

**METODOLOGÍA.**

Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

**ORIENTADO A.**

Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas y solución de problemas vibratorios.

**RELATOR.**

**DR.-ING. PEDRO SAAVEDRA G.**

Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (París, Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas. Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO - División Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura, Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO - División Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO - División El Teniente, ASMAR - Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Cía. Acero del Pacífico, Cía. Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, etc.

**ANEXO I – Curso Analisis de Vibraciones de Máquinas – Categoría IV - Universidad  
Concepción – Chile**



*Departamento de  
Ingeniería Mecánica*

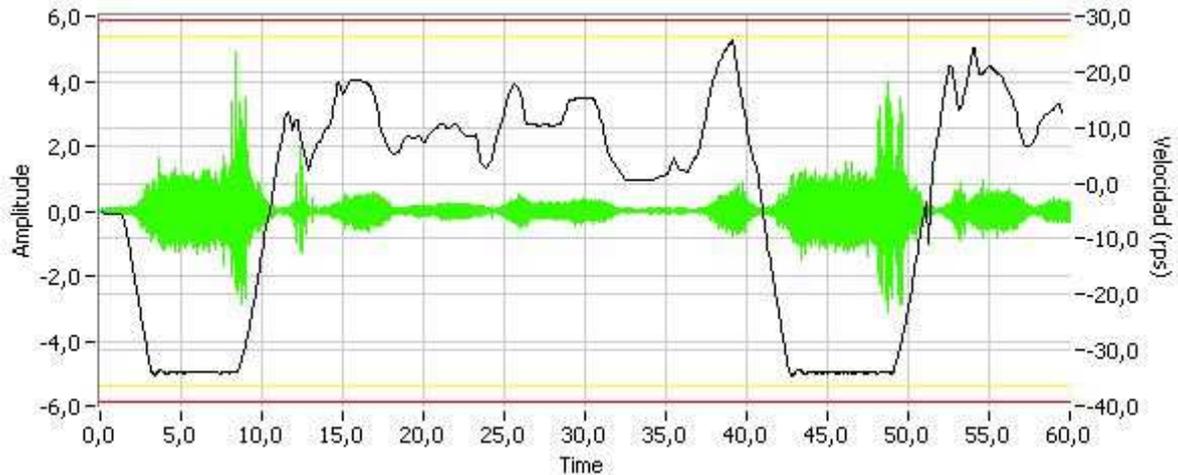
**CURSO ANALISIS DE VIBRACIONES  
DE MÁQUINAS - CATEGORÍA IV, ISO 18436-2**

Fecha: Octubre 14, 15, 16, 17 de 2008.  
 Fecha examen: Sábado 18 de octubre de 2008 (4 horas)  
 Duración: 32 horas (4 1/2 días)  
 Lugar: Hotel Diego de Almagro (F: 6726002)  
         Salón Montero  
         Alameda 1485 (Alameda con San Martín – Metro Moneda)  
         Santiago  
 Relator: Dr. Pedro Saavedra G.  
 Horario: 08:30 - 12:30 horas  
         14:00 - 18:00 horas  
 Código Sence: **12-37-7475-18**  
 Costo inscripción: \$730.000.-  
 Costo examen: \$60.000.-  
 Informaciones: Srta. Clara Muñoz S.  
 Inscripciones: Laboratorio de Vibraciones Mecánicas  
                   **[www.dim.udec.cl/lvm](http://www.dim.udec.cl/lvm)**  
                   Fono: 56-41-2204327  
                   Fax: 56-41-2251142  
                   email: [clarmuno@udec.cl](mailto:clarmuno@udec.cl)  
                   Casilla: 160-C  
                   Dirección: Edmundo Larenas 270, Interior - Concepción.

**Notas:**

El curso está limitado a un número de participantes. Por tal motivo se recomienda efectuar la inscripción con 5 días de anticipación.

## **ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS**



Velocidad  
Rotación  
Vibración  
límite de

### **CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES, CATEGORÍA IV, ISO 18436-2**

Relator: Dr. Ing.. Pedro Saavedra G.

#### **OBJETIVO.**

Este curso teórico-práctico está centrado fundamentalmente en capacitar en profundidad a los participantes en los fundamentos de la dinámica vibratoria, el procesamiento de la señal, las técnicas de diagnóstico modernas y las técnicas de reducción de vibraciones. Con este objeto el curso entrega por un lado conocimientos avanzados de técnicas de diagnóstico modernas y por otro lado entrega conocimientos sobre la dinámica del rotor y sobre el funcionamiento y monitoreo de algunas máquinas especiales.

#### **EXAMEN DE CERTIFICACIÓN.**

La certificación es un examen escrito, sin apuntes, de cuatro horas de duración, adicional al curso para los participantes que quieran obtener un certificado de "Analista de vibraciones categoría IV de acuerdo a ISO 18436-2". Los postulantes que aprueben este examen se les reconoce que están capacitados para realizar y dirigir con un alto grado de confiabilidad todo tipo de mediciones y análisis de vibraciones en cualquier tipo de máquina y para proponer y cuantificar soluciones que disminuyan el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras.

#### **PRERREQUISITOS.**

Para aprobar el examen de certificación de analista de vibraciones categoría IV es conveniente haber aprobado el examen de categoría III y tener experiencia práctica en estas técnicas al menos de 6 años.

#### **CONTENIDOS.**

##### **1. Conceptos de dinámica vibratoria.**

- Sistemas discretos de dos grados de libertad. Cálculo de frecuencias naturales y

modos de vibrar de estructuras sencillas.

- Frecuencias naturales y modos de vibrar de sistemas rígidos con seis grados de libertad y de sistemas continuos simples.
- Inestabilidades y vibraciones autoexcitadas. Vibraciones autoexcitadas generadas en intercambiadores de calor y turbomáquinas. Desprendimiento de vórtices. Inestabilidades fluido-elásticas. Flutter
- Comparación del comportamiento dinámico de rotores con comportamiento lineal y no lineal.
- Vibraciones en redes de tuberías debido a excitaciones mecánicas, hidráulicas o aerodinámicas.
- Introducción a la dinámica rotor/descanso. Características del rotor y de los descansos. Tipos de descansos. Coeficientes de rigidez y amortiguamiento. Velocidades críticas. Efectos giroscópicos del rotor. Diagrama de Campbell. Giro del rotor hacia delante y hacia atrás.

## **2. Adquisición y procesamiento de datos en profundidad**

- Diferentes sistemas de adquisición digital de datos. Conversión análogo/digital. FFT y transformada discreta de Fourier, TDF. Cálculo de la TDF. Diferentes tipos de ventanas de análisis y resolución en amplitud y frecuencia. Ancho de banda de análisis.
- Razón señal/ruido. Reducción de ruido. Transformada de Hilbert.
- Vibraciones aleatorias. Densidad espectral de potencias. Autoespectro. Espectros cruzados (cross spectrum). Funciones de correlación directa (autocorrelación) y cruzada (cross correlation). Funciones de coherencia.

## **3. Técnicas de diagnóstico avanzadas vistas en profundidad.**

### **3.1. Revisión en profundidad de algunas técnicas de análisis.**

- Análisis espectral, análisis de la forma de ondas y de la diferencia de fase de componentes.
- Análisis de promedios sincrónicos en el tiempo. Análisis de órbitas.
- Análisis de la autocorrelación, análisis del peak-vue, análisis de envolvente (o demodulación), análisis cepstrum.
- Análisis de órbitas, de la posición del eje en el descanso y del “full-spectrum en máquinas con descansos hidrodinámicos.

### **3.2 Análisis de vibraciones en la partida y parada de máquinas.**

- Interpretación de gráficos de Bodé y Nyquist medidos en la partida/parada de una máquina. Velocidades críticas, resonancias, antiresonancias, resonancias locales. Ejemplos de aplicación.
- Interpretación de mediciones realizadas durante la partida y parada de una máquina con descansos hidrodinámicos. Diagramas de Bodé. Parte real/imaginaria. Diagrama polar. Análisis de la posición radial del eje.
- Diferentes tipos de inestabilidades inducidas por el fluido: “Oil Whirl” y “Oil Whip” en descansos y sellos. Otros tipos de inestabilidades.

### **3.3 Análisis ODS (Operating Deflection Shape).**

- Definiciones y terminología.
- Requerimientos de transductores, instrumentos y software.
- Uso de un analizador de un solo canal y pulsos de referencia de fase. Número de puntos de medición requeridos.

- Forma de vibrar en operación con animación utilizando programas computacionales.
- Uso de un analizador de varios canales para realizar el análisis ODS.
- Ejemplos de aplicación.

### 3.4 Análisis modal experimental.

- ¿Qué es el análisis modal?. ¿Cuál es su utilidad?. ¿Cuáles son sus aplicaciones?. Instrumental, sensores y software requerido.
- Tipos de FRF (rigidez, flexibilidad, movilidad mecánica, impedancia mecánica, masa efectiva, acelerancia)
- Aplicación de las FRF para relacionar las vibraciones medidas en los descansos de la máquina con las fuerzas dinámicas que actúan sobre ella.
- Aplicación de las FRF para determinar experimentalmente los modos de vibrar de rotores y estructuras. Determinación del amortiguamiento modal.
- Comparación entre el análisis modal experimental y el análisis ODS.
- Capacidades de algunos programas comerciales.
- Presentación de casos donde el análisis modal experimental fue la única técnica que permitió determinar, y reducir posteriormente, las altas vibraciones medidas en la máquina.

### 3.5 Análisis utilizando las Transformadas Tiempo Frecuencia, TTF.

- ¿Qué son las TTF?. Transformadas lineales: "Short Time Fourier Transform", Gabor, Wavelettes. Transformadas cuadráticas: Pseudo Vigner-Ville, ZAM. Comparación entre ellas.
- Programas comerciales existentes.
- ¿Cómo seleccionar los parámetros de análisis?. Resolución en tiempo y frecuencia, número de puntos en el tiempo y número de líneas en frecuencia, tamaño y tipo de la ventana de análisis.
- Aplicaciones. Utilidad y limitaciones. Ejemplos.

### 3.6 Análisis de vibraciones en máquinas de carga y/o velocidad variable.

- Seguimiento de orders (Order tracking) 1x, 2x, 3x en la partida y/o parada de una máquina. Interpretación. Cuando es útil realizar este tipo de análisis.
- Espectro con seguimiento de orders. Sensores y equipamientos requeridos. Diferentes métodos de obtenerlo. Método utilizando hardware, método de remuestreo utilizando software, método híbrido. Aplicación a máquinas que mientras se realizan las mediciones cambian su velocidad: palas, camiones, perforadoras y máquinas de muy baja velocidad de rotación. Ejemplos.
- Transformadas Order Revolución. Instrumental requerido. Aplicación a máquinas que mientras se realizan las mediciones están variando su carga. Ejemplos.

## 4. Técnicas de reducción de vibraciones.

- Amortiguamiento de máquinas y estructuras. Cuando es necesario aumentar el amortiguamiento de una máquina y/o estructura. Formas de determinar el factor de amortiguamiento existente. Factor de amortiguamiento requerido por normas. Formas de amortiguar existentes. Amortiguamiento de vibraciones torsionales.
- Aislamiento de vibraciones y choques. Definición del aislamiento de vibraciones. Características y tipos de aisladores comerciales. Diferencias entre aislamiento y amortiguamiento cálculo de aisladores

para sistemas de un grado de libertad y varios grados de libertad. Que son fuerzas de choque. Aislamiento de choques. Cálculo de aisladores de choques. Ejemplos.

- Absorbedores de vibraciones.

Como funcionan y cuando son efectivos. Diseño de un absorbedor para disminuir las vibraciones transversales en máquinas y estructuras (bases, fundaciones, cañerías). Analogía para disminuir las pulsaciones de presión en redes de tuberías. Ejemplos.

- Balanceamiento de rotores rígidos y flexibles.

Balanceamiento de rotores rígidos en dos planos. Desbalanceamiento admisible por plano según ISO 1940. Cálculo del desbalanceamiento residual de un rotor después de balancearlo en terreno. Métodos y criterios para el balanceamiento de rotores flexibles de según ISO 11342. Rotores flexibles de clase 2 que pueden ser balanceados como rotores rígidos tomando cierto tipo de consideraciones.

Ejemplos.

- Alineamiento de rotores.

Características de diferentes tipos de acoplamientos. Criterios de desalineamiento permisible.

## **5. Análisis en profundidad de las normas de severidad de vibratoria en máquinas**

## **6. Análisis de vibraciones de tipos especiales de máquinas (análisis teórico y casos históricos).**

- Bombas y compresores de lóbulos y de tornillo.
- Motores Diesel y compresores alternativos.
- Vibraciones y pulsaciones de presión en cañerías.
- Harneros vibratorios.
- Turbinas hidráulicas.

### **METODOLOGIA.**

Las clases teóricas se realizarán con exposición oral, con ayuda de transparencias y se le proporcionará a cada participante un libro de los contenidos del curso y un conjunto de ejercicios que los participantes desarrollarán durante el curso. Los ejemplos analizados son casos históricos tomados en máquinas reales.

### **ORIENTADO A.**

**Profesionales y técnicos mecánicos, eléctricos e instrumentistas relacionados con mantenimiento de máquinas y solución de problemas vibratorios.**

### **RELATOR.**

DR.-ING. PEDRO SAAVEDRA G.

Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Concepción, Doctor en ENSAM (París,

Francia) en Ingeniería Mecánica con especialización en vibraciones mecánicas. Es autor de varias publicaciones internacionales y numerosos cursos en diagnóstico de fallas mediante análisis de vibraciones. Ha sido relator de Naciones Unidas. Consultor en diagnóstico de fallas durante los últimos 20 años de numerosas empresas: ENAP, PETROX, CODELCO - División Chuquicamata, Celulosa Arauco y Constitución, Forestal e Industrial Santa Fe, Empresa Eléctrica Colbún Machicura,

Empresa Colombiana de Petróleo, CODELCO - División Andina, Papeles Bío Bío, Fábrica Celulosa Laja, CODELCO - División El Teniente, ASMAR - Talcahuano, EDYCE, INFORSA, Cía. Acero del Pacífico, Cía. Minera Disputada Las Condes, EDELMAG, etc.

## A N E X O - ISO 18436-2

### 1. INTRODUCCIÓN.

ISO 18436-2 especifica los procedimientos para capacitar y certificar al personal que realiza monitoreo de condición, identifica fallas en máquinas y recomienda acciones correctivas.

Aquellas industrias que han aplicado estas técnicas de manera diligente y consistente, han tenido un retorno de la inversión que exceden en mucho sus expectativas. Sin embargo, la efectividad de estos programas dependen de las capacidades individuales de quienes realizan las mediciones y analizan los datos.

### CERTIFICACIÓN.

Las personas que trabajan en análisis de vibraciones serán certificadas de acuerdo a ISO 18436-2, dependiendo de sus competencias, en una de las siguientes categorías:

**CATEGORÍA I.** Las personas que satisfacen esta categoría se les reconoce estar certificadas para realizar mediciones de vibraciones en máquinas con instrumentos de un canal y análisis de espectros preliminares en algunos tipos de máquinas.

**CATEGORÍA II.** Las personas que satisfacen esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar medición y análisis de vibraciones básicas en máquinas industriales de acuerdo a procedimientos establecidos.

**CATEGORÍA III.** Las personas que satisfacen esta categoría se les reconoce estar calificadas para realizar medición y análisis de vibraciones con instrumentos multicanales, seleccionar las técnicas de análisis más apropiadas y establecer programas de monitoreo de vibraciones.

**CATEGORÍA IV.** Las personas que satisfacen esta categoría se le reconoce estar calificadas para realizar y/o dirigir todo tipo de medición y análisis de vibraciones, recomendar acciones correctivas de uso común para reducir el nivel de vibraciones de máquinas y estructuras, e interpretar y evaluar normas y recomendación del fabricante para fijar niveles de aceptación y alarma.

### 2. VALIDEZ DE LA CERTIFICACIÓN.

El período de validez de la certificación es de 6 años desde la fecha indicada en el certificado. Cerca del período final de validez la entidad certificadora puede renovar la certificación por una sola vez, por un nuevo período de similar duración con tal que la persona provea evidencia de una actividad de trabajo continuada satisfactoria en el tema sin interrupción significativa de tiempo.

Si no se cumplen los criterios de renovación, las personas pueden optar a la recertificación siguiendo los procedimientos para los nuevos candidatos.

### 3. EQUIVALENCIA ENTRE LOS CURSOS ANTERIORES NIVELES I, II Y III Y LOS NUEVOS CATEGORÍAS I, II, III Y IV.

3.1 El nuevo Curso de Vibraciones Categoría I, es similar en contenidos al antiguo curso Nivel I, como se puede ver en la comparación de ambos. En el nuevo curso, se ha eliminado el balanceamiento en dos planos y el análisis de algunas normas de severidad vibratoria, temas que se ven con mayor profundidad en los nuevos cursos Categorías IV y III respectivamente. Por lo tanto, la certificación Nivel I es equivalente a la nueva categoría I. Se debe tener presente, como lo señalábamos en la carta enviada previamente, que la certificación de cada categoría tiene una duración de 6 años.

3.2. El nuevo curso categoría II tiene como contenidos un 75% de los temas antiguamente vistos en el Nivel II.

Se ha eliminado:

- i) las vibraciones paramétricas y algunos tópicos del procesamiento de la señal, temas que serán vistos en mayor profundidad en el curso nuevo Categoría IV,
- ii) las técnicas de ondas de alta frecuencia (SPM, Ultrasonido) y las técnicas complementarias a las vibraciones, que serán vistas en mayor profundidad en el curso nuevo Categoría III. La disminución de materias permite profundizar en otros temas y analizar más ejemplos. Esto permitirá preparar mejor a los participantes para un examen de certificación más extenso, el que se realiza sin apuntes.

Las personas que hayan aprobado la evaluación Nivel II y Nivel III antiguos, se les reconoce estar certificados en categoría II. Las personas que sólo hayan aprobado el nivel II antiguo podrán, si se sienten capacitados, rendir el examen (sin apuntes) que se realizará las dos últimas horas del día viernes en las fechas en que se dictan los cursos de categoría II. En todo caso, se recomienda seguir el curso categoría II, antes de dar el examen, pues habrá temas que seguramente los participantes han olvidado o necesitan profundizar.

3.3 El curso Categoría III, es diferente al curso Nivel III en un 50%. En el nuevo curso, por un lado se agrega una revisión más profunda de algunas técnicas de análisis de vibraciones y funcionamiento de máquinas, y por otro lado se disminuye a nivel de introducción los métodos comunes para reducir las vibraciones en máquinas y estructuras. El examen para la certificación de esta Categoría III, que exige ISO, es más extenso. Por esta razón, el examen está incluido como una actividad aparte del curso (otro día). Esto permitirá a muchas personas practicar y estudiar antes del examen.

**Los cursos Categorías III y IV no tienen equivalencia con los anteriores cursos dictados.**

En los cursos nivel I, II y III se evaluaba y certificaba lo aprendido en el curso. En los cursos categorías I, II, III y IV, de acuerdo a esta nueva norma ISO se certifica competencias que debe tener la persona para ser certificada en alguna categoría

**4. EXAMEN DE CALIFICACIÓN.**

El candidato deberá responder un cierto número de preguntas (con libro cerrado) cubriendo los temas indicados en los contenidos de cada curso. Las preguntas serán de naturaleza práctica, aunque también tendrá conceptos y principios requeridos para realizar análisis de vibraciones en máquinas. Si se requiere realizar simples cálculos matemáticos con una calculadora, se le proveerá al participante un resumen de fórmulas.

Los exámenes para las categorías I, II y III, tendrán una duración de dos horas y se realizarán una vez finalizado el curso. El examen para la categoría IV será optativo de tres horas de duración y se realizará el día siguiente de finalizado el curso.

El porcentaje requerido para aprobar el examen de certificación es de un 75%. Las personas que no aprueben el examen tendrán certificado de asistencia al curso y podrán volver a rendirlo en fechas posteriores pagando el valor del examen.



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería



Laboratorio de Vibraciones Mecánicas

**FORMULARIO DE INSCRIPCIÓN**  
**CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS – ISO 18436-2**  
(completar y remitir a [clarmuno@udec.cl](mailto:clarmuno@udec.cl) o al fax: 56-41-2251142)

	<b>Categoría I</b>	<b>Categoría II</b>	<b>Categoría III</b>	<b>Categoría IV</b>
<b>Curso:</b>				
<b>Código Sence:</b>	12-37-7419-59	12-37-7459-84	12-37-7474-58	12-37-7475-18
<b>O.T.</b> (cód. interno Univ.)	_____	_____	_____	_____

**Antecedentes del participantes:**

Nombre completo: \_\_\_\_\_ Rut: \_\_\_\_\_  
 Email: \_\_\_\_\_ Fo no: \_\_\_\_\_  
 Facturación: Empresa: \_\_\_\_\_ Particular: \_\_\_\_\_ Otros: \_\_\_\_\_ (especificar)

**Antecedentes de la empresa:** (para facturar)

Nombre: \_\_\_\_\_ Rut: \_\_\_\_\_  
 Domicilio: \_\_\_\_\_ Giro: \_\_\_\_\_  
 Fono: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

**Responsable de la Inscripción:** (finalizado el curso se enviará la documentación)

Nombre: \_\_\_\_\_ Rut: \_\_\_\_\_  
 Cargo: \_\_\_\_\_ Fono: \_\_\_\_\_  
 Domicilio: \_\_\_\_\_ Email: \_\_\_\_\_

**OBSERVACIONES:** (informar sobre alguna situación particular):

:

---



---



---



---



---

\_\_\_\_\_  
Firma Responsable

\_\_\_\_\_  
Timbre de la empresa