

PLANEJAMENTO DE ENSAIOS AMBIENTAIS DE SELEÇÃO DE SISTEMAS ELETROMECAÂNICOS

Érico Pessoa Felix, ericopfelix@poli.usp.br¹
Gilberto Francisco Martha de Souza2, gfmsoouza@usp.br¹

¹Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Avenida Melo Moraes, 2231 São Paulo – SP – Brasil,

Resumo: *O presente artigo apresenta uma metodologia de planejamento de ensaios de seleção ambiental de sistemas eletromecânicos. Como exemplo de aplicação foi utilizado um motor elétrico AC destinado à movimentação da antena de um radar. A execução destes ensaios possibilita que as unidades “mais fracas” sejam detectadas antes de serem entregues ao cliente, mitigando a ocorrência de falhas precoces quando uma unidade já estiver em operação normal. O ensaio de seleção ambiental, conhecido como ensaios do tipo ESS (do inglês, “Environmental Stress Screening”) visam identificar componentes fracos na fase de produção. A filosofia básica destes ensaios baseia-se em aumentar a magnitude de solicitações ambientais com o objetivo de precipitar falhas latentes oriundas de problemas na fabricação e montagem do sistema e/ou dos seus componentes.*

Um programa de ensaios do tipo ESS classicamente apresenta três fases: planejamento, implementação e monitoramento. A fase de planejamento visa determinar os componentes críticos e as variáveis ambientais que mais influenciam a antecipação de falhas. Para identificação dos componentes críticos empregam-se técnicas como a análise de modos e efeitos de falha, FMEA (do inglês, “Failure Modes and Effect Analysis”) e o Desdobramento das Funções de Qualidade, QFD (do inglês, “Quality Function Deployment”). Na fase de implementação destaca-se a metodologia denominada FRACAS (Failure Reporting and Corretive Action System) utilizada para controle e documentação das falhas visando aperfeiçoar a tomada de ações corretivas. A fase de monitoramento utiliza ferramentas estatísticas como o Controle estatístico de Processos (CEP) e os diagramas de Pareto visando acompanhar o processo de detecção de falhas latentes.

Este artigo destaca-se na fase de planejamento de um ensaio de seleção ambiental de um motor elétrico AC. Este planejamento inclui as variáveis ambientais e operacionais que serão utilizadas para o procedimento de ESS, bem como as magnitudes e tempos de aplicação dessas variáveis.

Palavras-chave: *confiabilidade, ensaios de seleção ambiental, sistemas eletromecânicos*

1. INTRODUÇÃO

Os ensaios ambientais de seleção, ESS (do inglês, “Environmental Stress Screening”) são empregados no processo do desenvolvimento de um produto e tem como objetivo a “antecipação e detecção de defeitos ocultos” através da aplicação de solicitações aceleradas de vibração, temperatura e ciclos de energização e desenergização.

O programa de ensaio do tipo ESS é aplicado principalmente nas fases de desenvolvimento e produção e pode levar a melhorias significativas no campo da confiabilidade e/ou redução de custos de manutenção. Quando aplicado durante a fase de desenvolvimento pode trazer reduções significativas nas etapas de testes diminuindo ou eliminando defeitos latentes anteriores aos testes de qualificação.

O programa de ESS é um processo que simula uma temperatura e/ou vibração com magnitude mais elevada que a das condições normais de utilização. Este tipo de ensaio é aplicado principalmente objetivando a antecipação de defeitos característicos da fase de falhas prematuras, no qual a taxa de falha do produto tende a ser alta, diminuindo com o decorrer da vida operacional. Um aspecto importante de um processo de seleção são os testes funcionais que visam identificar os defeitos que foram precipitados com o ensaio. Caso o principio de funcionamento seja simples, como é o caso dos motores elétricos, as falhas funcionais podem ser determinadas rapidamente durante o próprio ensaio.

Os ensaios do tipo ESS não aumentam a confiabilidade do produto. A confiabilidade é definida principalmente pelo projeto. Os ensaios de ESS apenas diminuem a taxa de falha durante a vida operacional do produto através da detecção de falhas introduzidas no processo de fabricação e/ou montagem dos componentes do sistema em estudo.

O programa de ESS pode ser dividido em três partes:

Fase de planejamento: Nesta fase é identificado o equipamento que se submeterá ao programa, estabelece-se as metas quantitativas e define-se os ensaios iniciais. As ferramentas necessárias para esta fase são a Análise de Modos e

Efeitos de Falhas, FMEA (do inglês, “Failure Modes and Effect Analysis”) e o Desdobramento das Funções de Qualidade, QFD (do inglês, “Quality Function Deployment”).

Fase de implementação: Identifica-se aqui os elementos organizacionais que são responsáveis por conduzir as atividades do teste e reportar as falhas e estabelecer as ações corretivas de forma a documentar a ocorrência e a mitigação da falha. O procedimento de identificar e determinar ações corretivas é conhecido como FRACAS (do inglês, Failure Reporting And Corrective Action System”).

Fase de monitoração: Monitora continuamente o processo de ensaio para garantir que o mesmo esteja sendo eficiente técnica e economicamente. As principais ferramentas utilizadas na fase de monitoração são o Controle Estático de Processos e os Diagramas de Pareto.

2. PLANEJAMENTO DO ESS

Historicamente duas abordagens básicas foram usadas nos programas de ESS. Na primeira o cliente especifica os ensaios e seus parâmetros e na segunda o desenvolvedor desenvolve seus próprios ensaios de modo a diminuir o número de falhas do produto quando entregue ao cliente e utiliza essa informação como estratégia de mercado. Neste estudo visa-se a aplicação da primeira abordagem.

O custo é um dos fatores mais importantes no planejamento de um ensaio do tipo ESS. Deve-se selecionar o ensaio que atenda as limitações de tempo e disponibilidade de equipamentos de teste.

Baseado em Farrell (2000) são apresentadas a seguir as seqüências de atividades de um ensaio do tipo ESS.

- 1) Definição das metas do programa de ESS;
- 2) Estimativa dos defeitos que serão apresentados no ensaio (FMEA);
- 3) Determinação da abrangência do ensaio (MIL-HDBK-344);
- 4) Determinação dos parâmetros da serem variados no ensaio (QFD)
- 5) Análise de custos (Voltar a atividade 3 caso o custo não seja satisfatório)
- 6) Execução dos ensaios
- 7) Documentação das falhas e determinação das ações corretivas (FRACAS)
- 8) Monitoramento e Controle (CEP e Diagrama de Pareto)

3. MÉTODO DA ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS – FMEA

O FMEA(do inglês “Failure Modes and Effects Analysis”) é um método empregado na melhoria de projetos de sistemas, na determinação dos pontos vulneráveis no projeto, na concepção de testes, no projeto de linhas de produção (chão de fábrica) e no planejamento da manutenção, onde a elaboração de rotinas de diagnose e requisitos de manutenção preventiva são benefícios relevantes. O método é, inicialmente, qualitativo, mas podem ser incluídas estimativas de cálculo de probabilidades de falha. (LEWIS, 1987)

Como método, o FMEA tem diretrizes gerais as quais norteiam sua elaboração. Desta forma é necessário refletir sobre cinco questões a respeito do sistema como base para a elaboração do FMEA (SOUZA, 2003): Como pode falhar o componente (quais são seus modos de falha)? Quais são os efeitos destas falhas sobre o sistema? Quão críticos são estes efeitos? Como detectar a falha? Quais as medidas contra estas falhas (evitar, prevenir a ocorrência das mesmas ou minimizar seus efeitos)?

Usualmente o método emprega uma tabela, similar à indicada na Tabela 2, a qual apresenta as informações necessárias para uma análise adequada. Na primeira coluna apresenta-se a identificação do componente de acordo com o sistema em análise. Na segunda coluna é descrita a função do componente no sistema no qual opera. A terceira coluna é usada para descrever as possíveis falhas que podem ser apresentadas pelo componente. Na coluna seguinte são discutidas as conseqüências de cada modo de falha do componente sobre a operação do sistema. As colunas intificadas por “S”, “O” e “D” são referentes respectivamente a Severidade, Ocorrência e Detecção estas fazem parte do calculo da ultima coluna correspondente ao Numero de Prioridade de Risco (NPR). A norma MIL-HDBK-1629A(1980), para efeito de aplicação do FMEA, classifica a severidade nas seguintes categorias: catastrófica, crítica, marginal e desprezível. Classificações para ocorrência e Detecção também estão presentes nesta norma. Os valores de S, O e D adotados nesse artigo serão classificados de 1 a 10, onde por exemplo no caso da severidade o valor 1 corresponde a “Nenhum efeito no produto ou processos subseqüentes”, já o valor 10 corresponde a “O cliente muito descontente. Efeito extremo no processo; o equipamento danificou. Produto inoperável, mas, seguro. Sistema inoperável”.

Tabela 2 - Tabela Contendo Informações para Elaboração da Análise de Modos e Efeitos das Falhas

Principais Compon.	Função	Modos potenciais de falha	Efeitos potenciais da falha	Causas potenciais da falha	S	O	D	NPR

O número de prioridade de risco (NPR) é obtido através da multiplicação de S, O e D. Sendo assim possíveis valores de 1 a 1000. Este valor é fundamental na comparação dos componentes quanto ao risco de insatisfação do cliente.

4. Desdobramento das Funções de Qualidade – QFD

Segundo Akao (1990), o QFD é uma técnica que pode ser empregada durante todo o processo de desenvolvimento de produto e que tem por objetivo auxiliar o time de desenvolvimento a incorporar no projeto as reais necessidades dos clientes. Por meio de um conjunto de matrizes parte-se dos requisitos expostos pelos clientes e realiza-se um processo de “desdobramento” transformando-os em especificações técnicas do produto. As matrizes servem de apoio para o grupo, orientando o trabalho, registrando as discussões, permitindo a avaliação e priorização de requisitos e características e, ao final, será uma importante fonte de informações para a execução de todo o projeto.

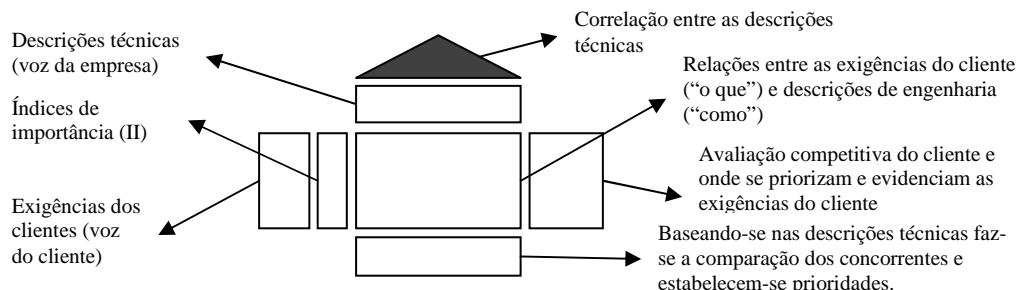


Figura 1 – Matriz a “Casa da Qualidade” da metodologia QFD, Akao (1990).

A casa da qualidade é indubitavelmente a mais importante das matrizes do QFD. Isto porque todas as versões a incluem sempre como a primeira casa, ou seja, como o primeiro desdobramento. Ela é a matriz que auxilia o desdobramento dos requisitos do cliente em especificações técnicas do produto e permite que sejam estipulados os valores metas para o desempenho em termos destas características. A Figura 1 ilustra de maneira esquemática os diversos componentes da matriz “Casa da qualidade”.

5. Implementação do ESS – Metodologia “FRACAS”

Segundo Farrell (2000), a metodologia de FRACAS (do inglês, “ Failure Reporting and Corretive Action System”) é a espinha dorsal de qualquer programa de ESS. Esta provê os dados necessários para identificar, rastrear, e resolver deficiências. O principal componente da metodologia FRACAS é a banco de dados utilizado para obtenção, análise e documentação dos eventos apresentados durante o teste.

O instante e a oportunidade de inserção de dados no banco de dados deve ser cuidadosamente gerenciado. Os seguintes dados devem ser adquiridos no instante da falha: localização da falha, teste sendo executado, data e hora, número da peça e número serial, sintomas da falha, circunstâncias de interesse, individuo que observou a falha, etc. Para garantir uma completa análise da falha devem-se determinar também os dados de causa raiz da falha, ações corretivas que devem ser tomadas e dados e número de série das ações corretivas.

6. Monitoramento do ESS

Ainda de acordo com Farrell (2000), as primeiras ferramentas para monitoramento do desempenho de um programa de ESS são o Controle Estatístico de Processos (CEP) e Diagramas de Pareto. Os dados necessários para alimentar as ferramentas mencionadas provêm do banco de dados da metodologia FRACAS. E os dados são utilizados para confrontar os parâmetros de resposta do ensaio ESS contra os requerimentos impostos no início do programa.

Os parâmetros chaves para avaliação incluem defeitos latentes surgidos, amplitude do esforço que foi submetido o equipamento, estimativas de defeitos latentes remanescentes, análise da tendência dos defeitos e defeitos de campo observados.

Os diagramas de CEP apresentam gráficos comparativos dos resultados dos atuais requisitos. As variações estatísticas devido ao tamanho da amostra devem ser calculadas utilizando uma distribuição Normal. Esta variação é geralmente expressa como ± 3 desvios padrões.

Diagramas de Pareto são utilizados para apresentar as causas das falhas e a frequência dos defeitos.

O processo de ESS é um ciclo fechado e depende das informações obtidas anteriormente para avaliar e melhorar os ensaios de seleção ambiental.

Esta avaliação do programa de ESS que permite um equilíbrio em termos de remoção efetiva de defeitos e custo dos ensaios.

Os ensaios não são rígidos e podem ser constantemente atualizados. É comum que parâmetros anteriormente considerados importantes sejam substituídos por outros.

7. Caso exemplo: O Programa de ESS para o sistema de movimentação de um radar

Um radar é analisado visando determinar um procedimento de ensaio para seus componentes críticos. O principal componente eletromecânico a ser analisado é o motor elétrico AC. Este é responsável pela movimentação da antena receptora em relação a base. O motor elétrico é considerado um equipamento crítico, pois caso este falhe o sistema de monitoração fica completamente comprometido.

Para operação normal do sistema de movimentação da antena do radar são investigados os possíveis ensaios que podem ser executados para identificação dos pontos fracos e até eventualmente para avaliação da confiabilidade do motor elétrico.

Para determinação das ordem de prioridades dos ensaios que devem ser executados é executada primeiramente uma análise do tipo FMEA de modo a identificar os principais modos de falha. Em seguida são avaliadas as relações entre os requisitos dos usuários ou especificações do produto e os principais modos de falha de cada componente. Esta relação é apresentada na Tabela 2.

Na análise do tipo FMEA apresentada na Tabela identifica-se que o componente que merece maior atenção, ou seja, que tem prioridade na aplicação de ações de mitigação dos riscos como ensaios de seleção ambiental são as escovas e seus respectivos suportes. A seguir são realizadas as análises do tipo QFD dos Modos de Falha, com o objetivo de determinar as relações entre os principais modos de falha de cada componente e os parâmetros de ensaio que podem simular as respectivas causas das falhas.

São previstos como parâmetros de ensaio fatores ambientais como temperaturas elevadas, temperaturas baixas, ciclos de temperatura, umidade relativa elevada, vibração, choques mecânicos, areia ou poeira e corrosão.

Com o objetivo de determinar pesos para cada uma das relações entre os modos de falha e os respectivos mecanismos associados, estabelece-se a seguinte pontuação de acordo com a relação de importância entre as variáveis: muito importante: 9 pontos; importante: 3 pontos; pequena importância: 1 ponto.

Como resultado principal da aplicação dessas duas etapas da metodologia do QFD tem-se a ordem de prioridade na execução de ensaios que é obtida através da soma das pontuações obtidas para cada modo de falha. A Tabela 3 apresenta a relação entre os modos de falha do motor elétrico e as variáveis ambientais que os influenciam, assim como a relação de relevância entre eles.

Tabela 1 - Análise FMEA do motor elétrico AC

Principais Compon.	Função	Modos potenciais de falha	Efeitos potenciais da falha	Causas potenciais da falha	S	O	D	NPR
Carcaça Estator	Definir os pontos de sustentação e as dimensões de montagem	Perda do pontos de apoio	Descontinuidade das partes	Vibração excessiva	6	4	1	24
	Conduzir a energia elétrica para formação de campo magnético	Bobina curto-circuitada	Queima do motor	Sobreaquecimento de isolamentos	7	2	1	14
Escovas e suportes das escovas	Conduzir corrente para o comutador	Desconexão de corrente devido a desgaste das escovas	Motor inoperante	Desgaste da escova. Desconexão da escova ou falha no suprimento de energia.	10	2	3	60
		Danos ao suporte das escovas do estator	Motor inoperante	Danos devido ao sobre aquecimento quando o motor é travado	8	3	2	48
Rotor	Controle do campo magnético	Bobina curto-circuitada	Queima do motor	Sobreaquecimento do isolamento dos enrolamentos	7	2	1	14
	Previne folgas e ruídos	Curto circuito na superfície do comutador	Queima do motor	Crescimento do desgaste devido a umidade.	6	3	2	36
		Corrosão	Ruído	Resistência a corrosão insuficiente	5	2	1	10
Selo de borracha	Promover isolamento nas áreas de conexão	Deformação do material	Perda da função de isolamento	Resistência do material a temperatura insuficiente	6	2	1	12
	Promover o isolamento entre a carcaça e o estator	Infiltração de água dentro do motor	Operação intermitente e ruído	Pressão de aperto dos elementos de fixação insuficiente.	6	3	3	54

Tabela 3 - Análise do tipo QFD para os modos de falha e as variáveis de influência. (Adaptado de SHIN et.al, 2006)

Modos de Falha / Mecanismos associados (Solicitações e Desempenho)	Não Operação	Curto Circuito	Deformação dos Material	Travamento	Ruído	Vazamento	Mal funcionamento
Umidade atmosférica	3	3	1	3	3	3	3
Vibração	3	3	1	1	3	3	3
Baixa temperatura	3	1	3	3	3	3	3
Alta temperatura	3	3	9	9	3	1	3
Areia, poeira	9	3	1	3	3	1	3
Alta temperatura e alta umidade	3	3	9	9	3	1	3
Choque mecânico	9	3	1	3	3	1	9
Corrosão	3	3	3	1	3	3	1
Total de pontos	36	22	28	32	24	16	28
Ordem de prioridade	1	6	3	2	5	7	4

A partir da análise da pontuação de cada modo de falha estabelece-se uma ordem de prioridades dos modos de falha. Assim verifica-se que a “Não operação” e “travamento do motor” são os itens mais afetados pelos fatores ambientais considerados.

A partir das variáveis ambientais anteriormente citadas buscou-se determinar quais ensaios são mais adequados a cada uma das variáveis ambientais. Os tipos de ensaios estudados são teste de “Salt Spray”, teste de durabilidade sob a ação da temperatura, ensaio de vida, teste de durabilidade sob a ação de vibração, teste de durabilidade a travamento do motor, teste de resistência a água e teste de poeira.

Visando determinar os ensaios mais adequados para cada modo de falha executou-se outra análise do tipo QFD com o objetivado encontrar a ordem de prioridade dos ensaios. Esta análise é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise do tipo QFD para os tipos de ensaios e os modos de falha do motor elétrico. (Adaptado de SHIN et.al, 2006)

Método de teste dos Modos de Falha/ Mecanismos	Teste de “Salt Spray”	Teste de durabilidade a temperatura	Ensaio de vida	Teste de durabilidade a vibração	Teste de durabilidade de travamento do motor	Teste de resistência a água	Teste de poeira
Não Operação	1	9	9	9	9	3	9
Curto Circuito	1	9	3	3	9	9	3
Deformação do Material	3	3	3	9	1	1	3
Travamento	1	9	9	9	9	1	3
Ruído	3	9	9	3	9	3	9
Vazamento	9	1	3	1	1	9	1
Mal funcionamento	1	9	3	9	3	3	9
Total de pontos	19	49	39	43	41	29	37
Ordem de prioridade	7	1	4	2	3	6	5

Através da análise da Tabela 4 encontrou-se a seguinte ordem de prioridades de ensaios: 1 - Teste de durabilidade a temperatura. 2 - Teste de durabilidade a vibração, 3 - Teste de “Salt Spray” e assim por diante.

Para o planejamento dos ensaios do tipo ESS para o motor elétrico prevê-se então como variáveis a temperatura e a vibração. Estes dois ensaios se adéquam a uma metodologia de ensaios acelerados de confiabilidade conhecidos como HASS- Highly Accelerated Stress Screening.

No caso de motores elétricos são necessários esforços combinados de temperatura e vibração para que sejam precipitadas um maior número de falhas. Os ensaios do tipo HASS são indicados para fase de produção dos equipamentos. Tipicamente combina solicitações de vibração constata associado a ciclos térmicos.(MIL-HDBK-338, 1998).

HASS é uma forma de teste acelerado de solicitação ambiental que apresenta uma duração muito limitada. Baseia-se no fato de que um pequeno acréscimo em um esforço pode causar um aumento grande no número de falhas. O HASS requer que o produto tenha uma margem de resistência suficiente acima da requerida para não haver falhas nos ambientes normais de operação. Temperatura e níveis de vibração, que excedem os níveis normais são usadas nos HASS para forçar uma rápida antecipação de defeitos de modo a fazer testes mais efetivos e econômicos.

O monitoramento funcional completo do produto teste é extremamente importante. Falhas não descobertas estão relacionadas a falhas prévias de campo e clientes insatisfeitos. Um teste mal projetado pode ser pior que não testar nada! Assim é importante executar avaliações de testes de verificação antes de testar a produção e assegurar que o teste não reduza a vida útil do produto. Deve-se mudar o teste se dados de campo indicarem que um mecanismo de falha específico está escapando ao teste. Assim um processo de teste efetivo é um processo dinâmico.

8. Perfil de ensaio de temperatura e Vibração

O equipamento em estudo apresenta especificações de temperatura de operação na faixa de -20°C a 70°C . Visando a adaptação dessa faixa de valores e supondo que o motor elétrico utilizado foi projetado para operar dentro desta faixa propõem-se um ensaio de ciclo térmico com esta variação de temperatura associado a um ensaio de vibração.

A norma MIL-HDBK-344 A (1993) propõe como ensaio inicial de temperatura e vibração com os seguintes parâmetros: (a) variação de temperatura de -54°C a 71°C ; (b) taxa de variação da temperatura do ar da câmara de ensaio de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$; (c) número de ciclos térmicos mínimo de 10; (d) equipamento ligado nas fases de temperatura constante e desligado nos períodos de variação de temperatura; (f) vibração aleatória com densidade espectral de 6 Grms; (g) limites de frequência de 100–1000 Hz; (h) vibração em três eixos simultaneamente ou seriadamente; (i) duração da vibração de 10 min/eixo com vibração seriada ou 10 minutos com vibração simultânea dos três eixos; (j) os ensaios de vibração ocorrem somente nos instantes em que a temperatura é constante.

Visando respeitar os limites de projeto do motor elétrico em consonância com as especificações ambientais do equipamento sugere-se que os limites de temperatura de -20°C a 70°C sejam seguidos também nesses ensaios.

A Figura 2 ilustra os perfis de temperatura e vibração do ensaio preliminar do motor elétrico.

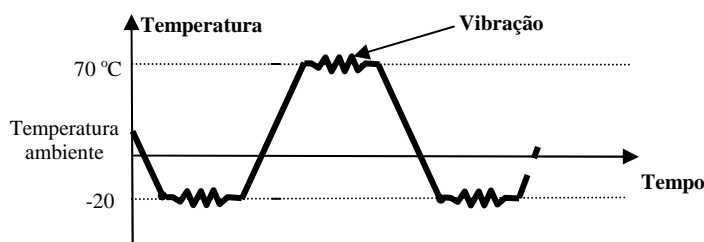


Figura 2 - Perfil temporal do ensaio proposto

9. Resultados: Procedimentos de ensaio para o Motor Elétrico

O procedimento de ensaio proposto do sistema de movimentação do radar em estudo é descrito a seguir:

- 1) Realizar todos os testes funcionais no motor elétrico.
- 2) Inserir um ou mais motores no interior de uma câmara de ensaio que seja capaz de executar o ensaio conforme as especificação iniciais.
- 3) Os motores devem estar inicialmente desligados
- 4) Executar o comando para reduzir a temperatura da câmara a -20°C . Este primeiro passo deve ser feito manualmente de forma que quando a temperatura da câmara se estabilizar em -20°C poderá ser dado início ao ciclo que se repetirá 10 vezes até que sejam realizados os testes de funcionalidade.
- 5) Após atingir a temperatura de -20°C o sistema deve permanecer nesse estado por 5 min para que os sistema realize uma acomodação térmica.
- 6) Ligar os motores elétricos e iniciar a vibração do sistema por 10 min supondo que se utilize uma vibração nos três eixos simultaneamente.
- 7) Desligar os motores elétricos e a vibração e executar o comando para elevar a temperatura para 70°C . A câmara deve ser programada para executar esta elevação de temperatura com uma taxa de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- 8) Após atingir a temperatura de 70°C o sistema deve permanecer nesse estado por 5 min,
- 9) Ligar os motores elétricos e iniciar a vibração do sistema por 10 min.
- 10) Desligar os motores elétricos e a vibração e fornecer o comando para se reduzir a temperatura para -20°C também com uma taxa de variação da temperatura de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.
- 11) Repetir os itens de 5 e 10 (ciclo térmico completo) 10 vezes
- 12) Reduzir a temperatura da câmara até esta atingir a temperatura ambiente.
- 13) Retirar os motores da câmara;
- 14) Realizar os testes das principais funções do equipamento.
- 15) Verificar se todas as funções estão em perfeito funcionamento, ou seja, se não ocorreu nenhuma falha;
- 16) Caso seja observada alguma falha, parar o ensaio e anotar o tempo de realização do ensaio, ou seja, o tempo decorrido entre as etapas 5 e 10. Executar o registro da falha conforme a metodologia FRACAS.

10. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta uma proposta de ensaio de confiabilidade do tipo ESS que consiste em um ensaio de seleção ambiental do sistema de movimentação da antena de um radar. O principal componente desse sistema de movimentação é um motor elétrico AC. Este elemento é considerado crítico, pois a sua falha pode causar a interrupção no movimento de rotação da antena, paralisando a operação do radar.

Para seleção dos parâmetros ambientais que mais estão relacionados a antecipação de falhas no sistema foi utilizada a técnica conhecida como QFD que determinou uma ordem de prioridade para os tipos de ensaio. Os dois ensaios que se mostraram mais importantes foram os ensaios de temperatura e vibração.

Os ciclos utilizados têm como estimativa inicial variações de -20°C a 70 °C com duração aproximada de 64 mim, dentre os quais o sistema sofre vibração constate em 20 minutos, distribuídos igualmente nas etapas de temperatura alta e baixa.

Como produto final deste artigo apresentou-se os procedimentos a serem seguidos para o desenvolvimento de um ensaio inicial que foi baseado na norma MIL-HDBK-344 A (1993). Destaca-se que esta é apenas uma estimativa de ensaio inicial. Na prática o mesmo pode se apresentar pouco eficiente ou muito agressivo ao sistema de forma que será necessário alterar os seus parâmetros o que pode ser feito através de mudanças no número de ciclos térmicos, nas amplitudes de variação térmica, na taxa de variação de temperatura, na densidade espectral de vibração, ou ainda, no tempo de vibração e temperatura constate.

O objetivo destes ensaios, a serem realizados pelo fornecedor dos sistemas (principalmente o motor elétrico), é detectar elementos que apresentem alguma falha de fabricação e/ou montagem que possam causar a sua falha funcional na etapa inicial de sua vida operacional.

A execução destes ensaios possibilita que as unidades “mais fracas” sejam detectadas antes de serem entregues ao cliente e montadas no radar, evitando a falha precoce do sistema de movimentação da antena quando uma unidade do radar já estiver em operação normal.

A inclusão da especificação de execução destes ensaios no pedido de compra do motor elétrico poderá causar um aumento no seu preço de venda, pois o fabricante deverá possivelmente realizar investimentos em equipamentos de ensaios. Entretanto, sob o ponto de vista da empresa, em muitos casos, é vantajoso investir maiores recursos na compra do produto dado que isto ira diminuir a probabilidade do mesmo apresentar falhas precoces, paralisando a operação do radar ainda no início de sua vida operacional. O custo associado a esta falha (incluindo o custo da perda de capacidade operacional do radar, custos logísticos para aquisição do componente que falhou, incluindo a eventual necessidade de transporte do radar, e o próprio custo de manutenção é certamente, muito elevado em relação ao acréscimo do preço de compra do motor elétrico.

Destaca-se que o objetivo do presente artigo é apresentar uma metodologia para o planejamento de ensaios ambientais de sistemas eletromecânicos e não apresentar resultados estes ensaios. A metodologia aqui proposta pode ser utilizada para realização de ensaios com o objetivo de detectar falhas latentes no processo de fabricação do sistema. Foi desenvolvida uma proposta de ensaios para motores elétricos AC, porém a mesma metodologia pode ser aplicada a outros sistemas semelhantes.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DEPARTMENT OF DEFENSE US MIL-HDBK-344 A: Environmental Stress Screening (ESS) of Electronic Equipment. USAF Rome, [S.l.], 1993.
2. LEWIS, E.E. Introduction to Reliability Engineering. New York: John Wiley & Sons, 1987. 400p.
3. SOUZA, G. F. M. Análise de Confiabilidade Aplicada ao Projeto de Sistemas Mecânicos, Apostila do curso, São Paulo, Brasil, 2003.
4. DEPARTMENT OF DEFENSE US MIL-HDBK-1629 A: Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. USAF Rome, [S.l.], 1980.
5. AKAO, Y. Quality function deployment: integrating customer requirements into product design, Cambridge, Productivity Press, 1990.
6. FARRELL, J. P. Environmental Stress Screening. The Journal of the Reliability Analysis Center. V. 7, n.3. 2000.
7. SHIN, W., LEE, S. , SONG, Y. The Reliability Life Test and Analysis of Wiper Motor for Automobiles. Key Engineering Materials Vols. 326-328 pp 605-608, 2006.
8. DEPARTMENT OF DEFENSE US MIL-HDBK-338: Electronic Reliability Design Handbook. Available from the National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1998.

12. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ENVIRONMENTAL STRESS SCREENING PLANNING FOR ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

Érico Pessoa Felix, ericopfelix@poli.usp.br¹

Gilberto Francisco Martha de Souza², gfmsoouza@usp.br²

^{1,2}Polytechnic School, University of São Paulo. Av. Prof. Mello Moraes, 2231 – Cidade Universitária, São Paulo, SP

Abstract. *This article presents a planning methodology for Environmental Stress Screening of electromechanical systems. As an example of application an AC electric motor used for moving a radar antenna. Was analyzed running these tests enables that "weakest units" are detected before being delivered to the customer, thus mitigating early failure that could occur when a drive is already in normal operation.*

The Environmental Stress Screening, known as ESS aims at identifying weak components in the production phase. The basic philosophy of these tests is to increase the magnitude of environmental loads to precipitate latent failures associated with problems in the manufacture and assembly of system and/or its components.

A ESS program has three phases: planning, implementation and monitoring. The planning phase is used to determine the critical components and more environmental variables that influence the failures precipitation. For identification of critical component techniques such as analysis of Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) and the Quality Function Deployment (QFD) are used. In the implementation phase the FRACAS methodology (Failure reporting and Corrective Action System) used to control and documentation of failures to enhance corrective actions. The monitoring phase uses statistical tools as statistical process control (SPC) and Pareto diagrams to monitor the process of latent failures detection.

This article highlights at the stage of planning an environmental selection test of an AC electric motor. This plan includes environmental and operational variables that will be used for the procedure of ESS, as well as the implementation times and magnitudes of these variables.

Keywords: Reliability, Environmental Stress Screening, Electromechanical Systems