



**XXIII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GGH/29
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - I

GRUPO DE ESTUDO GERAÇÃO HIDRÁULICA – GGH

TÍTULO: EXPECTATIVA DE VIDA DE GERADOR, O QUE LIMITA

**Takao Paulo Hara (*)
Hara Engenharia**

RESUMO

Sabemos que um dos principais equipamentos de uma UHE é o gerador. Nas décadas de 70 a 90 os geradores eram projetados e produzidos aplicando as melhores práticas de forma a ter equipamentos robustos e confiáveis. No entanto com a globalização, concorrências e o empreendedor adquirindo cada vez mais equipamento de menor preço, e não de menor custo, aliado ao desconhecimento e sem uma especificação técnica solicitando controle baseado em normas com parâmetros de aceitação. São muitos os exemplos de geradores que em poucos anos de operação apresentaram problemas graves em que muitos dos casos teve a necessidade de fazer um novo enrolamento, normalmente deparamos com algumas limitações na parte mecânica para dar um bom equacionamento.

Quando adquirimos o gerador geralmente não se preocupam em definir a expectativa de vida, principalmente da parte mais frágil do gerador que é o sistema de isolamento do enrolamento estatórico. Temos vários mecanismos de envelhecimento, mas os principais são os elétricos, térmicos, mecânicos e ambiental, que podem contribuir para a redução da vida da máquina. Atualmente os mecanismos de falhas térmicas e elétricas são bem conhecidos. Agora, o envelhecimento do sistema de isolamento será afetado fortemente se na sua concepção e fabricação já introduziu algumas fragilidades, tais como espessura do isolamento incompatível com a tensão da máquina, com vazios que permitam as descargas parciais, contato barra ranhura deficiente, sistema de pinturas condutiva e semicondutiva ineficientes, espaçamento inadequado na cabeça de bobina etc.

PALAVRAS-CHAVE

Palavra-Chave, Gerador, Máquinas Síncronas, Envelhecimento, Vida Útil

1.0 - INTRODUÇÃO

É muito importante definir a expectativa de vida que o concessionário da UHE espera. Assim não teremos dispêndio de recursos na operação e manutenção e o que é mais grave, indisponibilidade de geração por um longo período para fazer o reparo que poderá afetar a receita do empreendimento.

Neste trabalho propomos alguns cuidados na especificação e ensaios de fabricação de forma a minimizar o problema de aquisição de um enrolamento com problemas e também propor inspeções e manutenções de forma a monitorar o desempenho e o envelhecimento dos sistemas de isolamento.

Dentro deste contexto temos alguns quesitos que devem ser seguidos:

Ensaio de qualificação ou homologação de produto. Os objetivos destes ensaios normalizados são para verificar se o fabricante está oferecendo um produto que é compatível com a aplicação, dentre eles os de perdas dielétricas, descargas parciais, voltage endurance test, ciclo térmico, tensão aplicada etc

Ensaio de controle da produção na fábrica. Os objetivos destes ensaios normalizados são para verificar se o fabricante está produzindo o que foi homologado na etapa anterior. Temos os ensaios de resistência de isolamento,

isolamento entre os condutores, tensão aplicada, perdas dielétricas, voltage endurance test por amostragem do lote produzido, dimensional, resistência da pintura condutiva, descargas parciais, capacitância etc.

Ensaio de montagem na fábrica ou campo. Os objetivos destes ensaios normalizados são para verificar se a montadora não está introduzindo algum problema grave no enrolamento do gerador. Temos medição do contato barra ranhura, tensão aplicada em várias etapas e sempre reduzindo até chegar ao valor de norma $2U_n + 3$, sendo U_n a tensão de fase.

Creio que será uma oportunidade para debater as alternativas de solução, e o mais importante, sabendo que temos como evitar problemas e monitorá-lo.

As questões de especificação devem ser baseadas nas boas práticas e normalizadas, sugerindo os parâmetros de aceitação.

Com o acima proposto teremos um enrolamento de alta confiabilidade e com expectativa de vida acima do esperado pelo projeto que é normalmente de 30 anos.

2.0 - FATORES DE ENVELHECIMENTO

2.1 Elétrico

O processo de envelhecimento elétrico dá-se com a degradação do isolamento por descargas elétricas nos vazios ou por imperfeições com a consequente perda do isolamento. A intensidade da descarga está relacionada à solicitação dielétrica (kV/mm). Em projetos a rigidez dielétrica recomendada é de 2,5 kV/mm, que é padrão da escola norte americana e europeia. Segundo o estudo de Eyring se dobrar a rigidez dielétrica normalmente reduz a vida em 1.000 vezes. As medições de descargas parciais não foram realizadas até o momento, portanto não sabemos a que nível se encontra para este tipo de isolamento. Porém, se existir será com intensidade maior na região entre o cobre e o isolamento. Este fato ocorre devido a dois fatores, quando da tomada de carga com rampa de carga muito íngreme ou com a variação de carga em operação. Não há evidência e registro de atividades de descargas parciais nos geradores.

2.2 Térmico

O processo de envelhecimento térmico dá-se pela aceleração da reação química pelo efeito da temperatura. A classe térmica é normalizada pela IEC 60085 onde o material ou compósito deve suportar o stress térmico por 20.000 horas mantendo suas características. Por outro lado, pela Lei de Arrhenius, pode-se dizer de forma simplificada que a cada 10 °C de sobretemperatura a vida é reduzida em 50% e o inverso, se reduzir a temperatura em 10 °C dobra-se a vida. Então, podemos dizer que o isolamento de classe térmica F - 155 °C, operando à 120 °C, terá uma vida estimada de 240.000 horas ou seja 27,4 anos.

Se os enrolamentos estatóricos dos geradores operam com temperaturas médias de 115 °C, porém como o termômetro apresenta uma diferença de medição de cerca de 10 °C em função da posição do sensor de temperatura, podemos concluir que em média a temperatura real no enrolamento é de aproximadamente 125 °C. Se o projeto estiver coerente, o enrolamento do rotor também deve operar com 125 °C, apesar de não ter medição, como o material isolante também é de classe térmica F - 155 °C, deste modo o isolamento rotor terá uma vida útil estimada de 160.000 horas ou seja 18,26 anos.

2.3 Mecânico

O processo de envelhecimento mecânico se dá pela perda da proteção de corona (pintura condutiva) geralmente por abrasão e perda de flexibilidade do isolamento (tornando rígido e quebradiço) com surgimento de trincas. Ainda pode ser atacado por material contundente que pode retirar o material isolante, como o ataque das lâminas dos dentes que erodem o isolamento pela sua irregularidade permitida em projeto.

Outro esforço é devido a atração e repulsão da bobina estatórica dentro da ranhura pela passagem dos polos. A frequência é duas vezes a frequência do sistema, ou seja, 120 Hz. Este fato é agravado se existirem folgas da bobina na ranhura ou as cunhas frouxas.

2.4 Ambiental

O processo de envelhecimento ambiental se dá pela reação química, oxidação, hidrólise e contaminação. Pode se ocorrer devido às condições do ambiente (vapor de óleo, umidade, insetos, pó de concreto etc.) ou em processo de limpeza, como o uso do material incompatível com as resinas utilizadas.

3.0 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Quando adquirimos o gerador geralmente não se preocupa em definir a expectativa de vida, principalmente da parte mais frágil do gerador que é o sistema de isolamento do enrolamento estatórico. É muito importante definir a expectativa de vida, pois este tem que estar aderente a vida econômica, caso contrário teremos necessidade de investimento não previsto e o que é pior, a interrupção no fornecimento afetando fortemente nos indicadores de desempenho que ao final afetará a receita do empreendimento. Isto se agrava quando a UHE tem poucas unidades geradoras.

3.1 Ensaio de homologação

Os ensaios de qualificação ou homologação de produto também é chamado de "vendor qualification". Os objetivos destes ensaios normalizados são para verificar se o fabricante está oferecendo um produto que é compatível com a aplicação do gerador que normalmente é operado na base de carga, variação de carga, ponta de carga onde o gerador parte e para diariamente, gerador reversível operando como gerador e motor de bomba etc. Os ensaios mais comuns são os de perdas dielétricas, descargas parciais, voltage endurance test, ciclo térmico, tensão aplicada, descargas parciais e resposta a impulso no caso de bobina etc. Após a aprovação do protótipo nos ensaios relacionados, devemos aprovar a aquisição ou liberar a produção das bobinas ou barras.

3.1.1 - Perdas dielétricas

O objetivo deste ensaio é verificar a qualidade dos materiais aplicados e o processo de cura do isolamento principal da bobina ou barra do enrolamento estatórico da máquina.

A medição das perdas dielétricas pode ser feita medindo o tangente de delta ou o fator de potência do isolamento. O correto é medir o tangente de delta, mas se o ângulo delta é muito pequeno, ou seja, as perdas dielétricas são pequenas, podemos medir as perdas dielétricas com fator de potência que o erro estará depois da quarta casa decimal, o que não é relevante.

Existem várias normas definindo as perdas dielétricas, principalmente as tensões a serem aplicadas, bem como os intervalos de medidas das perdas dielétricas. As normas mais comuns disponíveis são: IEEE 286, IEC 60894, VDE 0530, DIN 50209.

No Brasil, os usuários tem preferido utilizar a norma VDE 0530 ou DIN 50209 porque ela define o tip-up médio e não absoluto como as demais normas. Parece-me que trabalhar com médias, pode-se atenuar eventuais erros de leituras no ensaio.

Medindo as perdas dielétricas em intervalos de tensão, o primeiro intervalo (0,2Un) indica a qualidade do material aplicado no sistema de isolamento. O crescimento dos valores de perdas dielétricas com o aumento da tensão indica a quantidade de vazios no sistema de isolamento. Porém não podemos identificar onde os vazios estão localizados, se na região da superfície do isolamento, no meio do isolamento ou junto ao cobre.

Veja figura da norma DIN 50209.

Maximum values admitted for coils up to $U_N = 11$ kV according to DIN EN 50209:

$\tan \delta (0.2 U_N)$	$\frac{\tan \delta (0.6 U_N) - \tan \delta (0.2 U_N)}{2}$		$\Delta \tan \delta$ for each 0.2 U_N step	
100% of coils	95% of coils	5% of coils	95% of coils	5% of coils
3%	0.25%	0.3%	0.5%	0.6%

Example for an 11-kV coil:

$\tan \delta$ (%) at room temp.

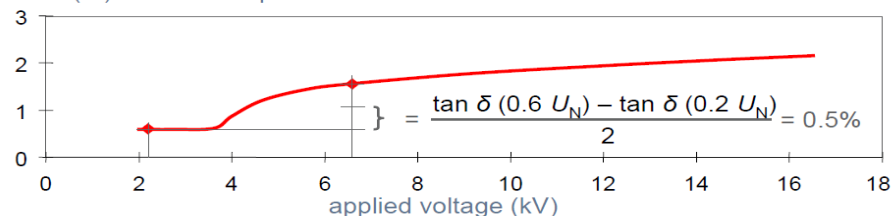


FIGURA 1 – Valores de referências da norma DIN 50209

Apesar do valor de tip-up definido por: $\{\tan \delta (0.6 U_N) - \tan \delta (0.2 U_N)\}/2$ ser de 0,25%, muitas empresas trabalham com especificação de 0,125%. No entanto na prática, para o sistema de isolamento robusto e que poderiam suportar solicitações muito severas como o ensaio de voltage endurance test definidos nas normas IEEE 1043 e IEEE 1553, o valor de tip-up deve ser menores que 0,10%.

A variação $\tan \delta$ a cada degrau de 0,2 U_N também deve seguir o mesmo raciocínio, ou seja, redução de 0,5% para cerca de 0,25% ou até de 0,20%.

3.1.2 - Descargas Parciais

O ensaio de descargas parciais tem como objetivo medir os vazios existentes no isolamento que são excitados com a presença do campo elétrico. O grande benefício deste ensaio é que pode-se identificar o vazios com a atividade da descargas parciais e onde estão ocorrendo: na região da superfície da barra, no meio do isolamento ou próximo ao cobre.

A medição das descargas parciais em laboratório é recomendada realizar pela IEC 60270 ou IEC 60034-27-3. Pode-se medir as descargas parciais pela IEEE 1434, mas este se aplica mais para máquina montada e a medição é realizada adquirindo descargas com frequência acima de 40 MHz.

Ainda não muito usual, mas algumas empresas já solicitam em suas especificações limites de aceitação das descargas parciais em barras ou bobinas. O valor mais aplicado é de que a descargas parciais não deve ser maior que 50 pC ou 50 mV. Alertamos que a descargas parciais em barra ou bobina nova podem ser ligeiramente maior, visto que ainda o sistema de isolamento não está completamente curado.

3.1.3 - Tensão Aplicada Vca

Para identificar fragilidade do sistema de isolamento, deve-se aplicar quatro vezes a tensão nominal nas amostras. Por exemplo, se a tensão nominal ou de fase é 13,8 kV, devemos aplicar 55,20 kV por um minuto. Muita atenção no sistema de alívio de corona descrito nos itens acima 3.2.5 e 3.2.6, pois os mesmos podem aquecer muito devido a corrente capacitiva da cabeça de bobina.

3.1.4 - Voltage Endurance Test – VET

O ensaio de voltage endurance test é normalizado pela IEEE 1043 e o critério de aceitação pela norma IEEE 1553. A norma recomenda que deve ser fabricados 4 protótipos e estes devem ser submetidos aos ensaios de perdas dielétricas, capacitâncias, resistência da pintura condutivas etc, para assegurar-se que o sistema de isolamento foi fabricando com pouquíssimo vazios. A experiência tem demonstrado que para ter sucesso no ensaio de VET os valores de perdas dielétricas medido pelo tip-up devem ser menores que 0,05% conforme normas VDE 0530 ou DIN 50209.

A IEEE 1043 recomenda todo o arranjo de ensaios e valores de aplicação: aplicar tensão entre $3,5$ a $4,5 \cdot U_n / \sqrt{3}$ e temperatura de 90 a 130 °C, os valores dependem da severidade de aplicação do gerador. Normalmente utiliza-se $4 \cdot U_n / \sqrt{3}$ e temperatura de 100 °C, pode em muito caso aplic-a-se 120 °C.

Pelo critério de aceitação da IEEE 1553, uma amostra ou protótipo pode falhar depois de 250 horas e as demais tem que suportar 400 horas. É comum a realização de acordos com o fornecedor e deixar o ensaio do VET prosseguir para verificar-se com quanto tempo os protótipos falha.

Nas figuras 2 e 3 apresenta-se caso prático de um empreendimento da Copel, onde foram necessários desenvolver 4 lotes de protótipos para que o sistema de isolamento fosse aprovado conforme recomendado em norma.

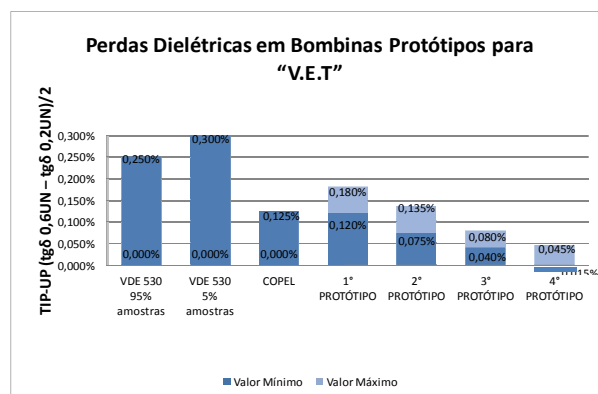


Figura 2 - Evolução do Tip-up

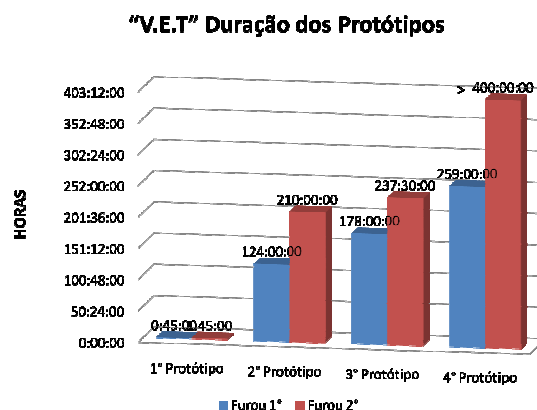


Figura 3 - Evolução do tempo de ensaio

3.1.5 - Ciclo Térmico

Este ensaio é requerido para máquinas que não trabalham em regime contínuo ou tem sistema de partida diferente da S1. São máquinas que partem e param diariamente ou podem operar como gerador ou motor (pump storage).

O ensaio de ciclo térmico é normalizado pela IEEE 1310.

Método de ensaio:

Número de amostras: 2 ou 4

Aquece-se por meio de $R I^2$ a barra/bobina com fonte Vca ou Vcc.

Para sistema de isolamento de classe térmica F, ciclos de 155 °C e 40 °C.

Intervalos: 50, 100, 250 e 500 ciclos.

Ensaio em cada intervalo: capacitância, $\tan\delta$, descargas parciais e surge test

Critério de aceitação

Não alteração significativa de capacitância, $\tan\delta$, descargas parciais.

Submeter a tensão aplicada

3.2 Ensaio de Produção das Barras ou Bobinas

Para assegurar a produção de sistema de isolamento de barras ou bobinas com qualidade devemos acompanhar no mínimo os seguintes ensaios:

3.2.1 - Inspeção Visual

Após a fabricação das barras ou bobinas os mesmos devem ser inspecionados em 100% da produção verificando se há alguma não conformidade quanto ao acabamento, alteração de cor etc.

3.2.2 - Ensaio para Verificar Curto Circuito entre Condutores

As barras ou bobinas devem ser verificadas se há curto circuito entre condutores em 100% da produção aplicando 127 ou 220 Vca.

3.2.3 - Controle Dimensional e Identificação

Todas as barras ou bobinas devem ser verificadas a dimensão com gabarito passa ou não passa, principalmente na largura em 100% da produção, pois se a largura for maior que o previsto, a mesma pode não entrar na ranhura. Elas devem ser identificadas para o controle e rastreabilidade.

3.2.4 - Medição da Pintura Condutiva

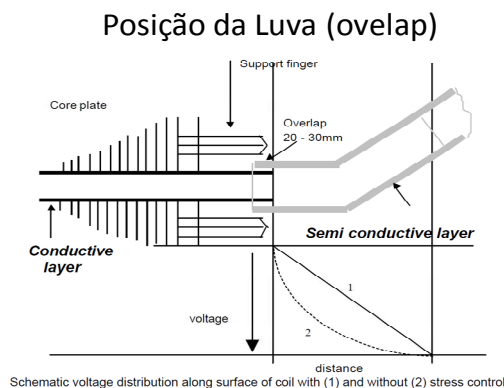
A pintura da parte reta da barra ou bobina geralmente é pintada com resina a base de poliuretano ou melhor, e com carga de pó de grafite. Como a pintura serve para equalizar os contatos entre a barra ou bobina e ranhura, a mesma tem que ter valores 0,5 a 1,0 $k\Omega/\square$ e depois de manuseado pode se ter até 0,8 a 1,2 $k\Omega/\square$ em 100% da produção. Estes valores são críticos para barras que serão submetidos ao ensaio de voltage endurance test.

3.2.5 - Medição da Pintura Semicondutiva

A pintura ou fita semicondutiva geralmente é instalada na barra ou bobina na parte de fora da ranhura e é executada com resina a base poliuretano ou melhor, e com carga de pó de carbeto de silício. A pintura serve para atenuar o campo elétrico da cabeça de bobina e drenar a corrente capacitiva, como mostra a figura 5. Como o carbeto de silício não é linear, quanto maior a tensão, maior será a atenuação. Como é difícil pintar e assegurar que a resistência é adequada e inclusive o seu controle, normalmente utiliza-se fita semicondutiva.

3.2.6 - Sobreposição das Pinturas Condutiva e Semicondutiva – Luvas

As pinturas condutiva e semicondutiva devem ter uma região de superposição e este deve ser no meio ou simétrico ao dedo de aperto, como mostra a figura 4. Comumente denominado de luva. Dever ser verificada em 100% da produção.



Campo Elétrico Saída Ranhura

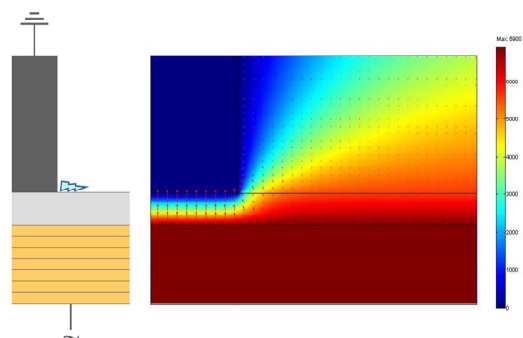


Figura 4 - Indica a posição da luva e a atenuação da tensão Figura 5 - Indica a distribuição do campo elétrico

3.2.7 - Medição das Perdas Dielétricas

Deve ser o mesmo processo medição descrito no item 3.1.1. O ensaio deve ser realizado em 100% da produção. Na produção das barras ou bobinas as mesmas teriam que obter resultados semelhantes aos da homologação do sistema de isolamento, ou seja, tip-up < 0,10% calculado pelo método da VDE 0530 ou DIN 50209.

3.2.8 - Medição das Descargas Parciais

Deve ser o mesmo processo do item 3.1.2. Em 100% da produção das barras teria que obter resultados semelhantes aos da homologação do sistema de isolamento, ou seja, descargas parciais < 50 mV ou 50 pC medido pelo método da IEC 60270 ou IEC 60034-27-3. Pode-se também medir as descargas parciais pela IEEE 1434.

3.2.9 - Medição da Capacitância

A medição da capacitância é obtida quando da medição das perdas dielétricas mencionada no item acima 3.2.7. É importante obter este valor, pois este pode ser utilizado para calcular a potência da fonte para fazer o ensaio de tensão aplicada Vca no bobinado inteiro. A variação da capacitância pode também identificar: vazios quando a capacitância diminui e umidade quando a capacitância aumenta. Fazer a medição em 100% da produção.

3.2.10 - Tensão Aplicada Vca

Para identificar fragilidade do sistema de isolamento, deve-se aplicar três vezes a tensão nominal em 100% da produção. Por exemplo, se a tensão nominal ou de fase é 13,8 kV devemos aplicar 41,40 kV por um minuto. Muita atenção no sistema de alívio de corona descritos nos itens acima 3.2.5 e 3.2.6, pois os mesmos devem aquecer muito devido a corrente capacitiva da cabeça de bobina.

3.2.11 - Voltage Endurance Test – VET

Recomenda-se repetir o ensaio de voltage endurance test descrito no item 3.1.4 retirando 4 amostras, sendo uma amostra de cada 25% do lote de produção. Isto é para verificar se as barras ou bobinas produzidas tem a mesma qualidade da homologada. Apesar de o ensaio constar na especificação técnica esta solicitação normalmente não é realizada, se os valores de perdas dielétricas das barras produzidas estão semelhantes as das barras de homologação, pois a realização deste ensaio pode atrasar os serviços de instalação e ainda onerar o custo do empreendimento para o fabricante bem como para o comprador.

3.2.12 - Resposta a Impulso - Surge Test

Este ensaio aplica-se para bobinas multiespiras onde a mesma identifica eventual problema de fragilidade do isolamento entre espiras. É fundamental para as máquinas que estão sujeitos a surtos de manobras e atmosféricos, pois os para-raios instalados no cubículo de surtos permitem a condução de tensão residual que serão conduzidos para o bobinado do gerador. Este ensaio é normalizado pela IEEE 0522. Para uma máquina de 13,8 kV devemos aplicar um surto com frente de onda de 1 μ s com crista de 39.437 Volts.

3.3 Ensaio de Montagem do Bobinado

Para assegurar o bobinamento de enrolamento de um estator com qualidade devemos acompanhar no mínimo os seguintes ensaios:

3.3.1 - Medição da Resistência de contato barra/ranhura

Com um multímetro digital devemos medir a resistência Ohmica de contato entre a barra e o núcleo. Esta verificação é para assegurar que a barra está bem aterrada em toda a sua extensão. Os valores típicos aceitáveis são entre 0,8 a 1,2 k Ω /□ para gerador novo. Em geradores em operação estes valores variam de 0,5 a 5 k Ω /□.

3.3.2 - Ensaio de Tensão Aplicada Vca - Barras inseridas na ranhura

As barras podem ser danificadas no transporte, manuseio ou na instalação, as barras de fundo são as mais críticas, principalmente se o enrolamento for ondulado, recomenda-se aplicar nas barras de fundo a tensão de $1,2 \cdot (2U_n + 3)$ por um minuto.

3.3.4 - Ensaio de Tensão Aplicada Vca - Barras Cunhadas

Como as barras podem ser danificadas no transporte, manuseio na instalação e no processo de cunhagem, mas antes de fazer a brasagem da conexão série, recomenda-se aplicar por grupos de barras de fundo e topo tensão de $1,1 \cdot (2U_n + 3)$ por um minuto.

3.3.5 - Ensaio de Tensão Aplicada Vca - Completamente montada

Após todas as fases instalada, cunhada e brasada, recomenda-se aplicar por grupos de barras de fundo e topo tensão de $(2U_n + 3)$ por um minuto.

3.3.6 - Medição de descargas Parciais – offline

Para certificar-se de que o enrolamento está bem montado, devemos medir os níveis de descargas parciais. Se há descargas parciais, normalmente podemos identificar se as descargas parciais ocorrem na região entre a barra e núcleo, na parede do isolamento ou na região entre o cobre e o isolamento. Dificilmente identificaremos descargas parciais na cabeça de bobina, pois aplicamos até $1,2 \cdot U_n / \sqrt{3}$, insuficiente para criar os campos elétricos e sem referência para a terra para promover as descargas parciais.

3.3.7 - Corona no escuro

Em câmara escura energiza-se o enrolamento por fase e eleva-se a tensão até $U_n / \sqrt{3}$ e visualiza-se os pontos brilhoso, depois eleva-se a tensão até $1,2 \cdot U_n / \sqrt{3}$ deixando alguns segundos e em seguida reduz-se a tensão para $1,1 \cdot U_n / \sqrt{3}$. Os pontos brilhosos devem ser identificados e marcados com giz para posterior correção.

Após a correção deve-se repetir o ensaio.

Este ensaio pode ser realizado também com câmara fotográfica ou filmadora ultravioleta,

3.3.8 - Ensaio de vibração da cabeça de bobina

Com a redução de material no sistema de amarração da cabeça de bobina, nos projetos recentes, existe a possibilidade de ocorrer a vibração na cabeça de bobina. Este ensaio deve ser realizado com um acelerômetro fixado na cabeça de bobina e coletor de vibração, bate-se com martelo de borracha na cabeça de bobina e coleta-se o sinal de vibração. Fazendo a transformação do sinal para o domínio da frequência, não podemos ter picos de frequência em 120 Hz e em seus harmônicos. Se o ensaio apresenta picos de frequência em 120 Hz e em seus harmônicos, as barras podem vibrar-se excitadas pelas passagens dos polos.

3.3.9 - Ensaio de Resistência de Isolamento

Este ensaio é com aplicação de Vcc. O ensaio identifica falhas graves de isolamento ou contaminantes superficiais tais como sujeira, umidade, poeiras, pó de escovas etc. O mesmo deve ser aplicado conforme IEEE 043/2014.

3.3.10 - Outros Ensaio

Existem muitos outros ensaios a serem realizados que estão indicado no capítulo 19 do livro "Electrical Insulation for Rotating Machines, Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair", IEEE Press 2004 e 2014, dos autores Stone, Greg C., Culbert Ian, Boulter, Edward A., Dhirani, Hussein. No entanto não queremos esgotar o tema e além do que os ensaios devem ser solicitados a luz da especificidade de cada projeto.

3.4 Inspeções, Ensaio e Monitoramento de Gerador

Atualmente existe uma série de inspeções, ensaio e monitoramento que podemos fazer em uma máquina em operação. Creio que não podemos abrir mão da inspeção de um profissional experiente com olho treinado, um ensaio com Vcc e outro com Vca.

3.5 Introdução de problemas no gerador

No processo de construção de um grande gerador podemos inserir problemas ou restrições nas etapas referidas.



Figura 6 - Causa raiz das falhas e sua evolução

3.5.1 - Especificação Técnica

A ausência ou frágil especificação técnica induz o fornecedor a deixar de atender alguns cuidados nas considerações para definir o projeto, fabricação, montagem e comissionamento do gerador. Assim ficando com um problema crônico que pode aumentar a necessidade de manutenção aumentando assim o custo de operação e manutenção podendo impactar os indicadores de desempenho e consequentemente até a receita do empreendimento.

3.5.2 – Projeto

Normalmente são conservadores, mas com o advento da ferramenta de estudo de elementos finitos, pode-se reduzir o coeficiente de segurança e em muitos casos, quando coincide com outras limitações, podem levar a problemas crônicos ou até as falhas prematuras. Muita atenção nas análises dos projetos.

3.5.3 – Fabricação

Apesar de ter o projeto bem elaborado e equilibrado, a equipe de feitores nas fabricas são jovens e os mais experientes das décadas anteriores já estão fora de mercado. Assim, estão cometendo muitos equívocos que irá impactar na montagem e na qualidade do gerador.

Outro problema é que as empresas não conseguem ser competente e competitivo em todos os segmentos, logo terceirizam muitas atividades com empresas que em muitas vezes não tem a qualidade requerida.

3.5.4 – Montagem

O problema de montagem é muito pior que o de fabricação, realmente os profissionais experientes já se aposentaram. Isto é mais grave na montagem das bobinas dos geradores, nota-se que a qualidade caiu muito na última década.

3.5.5 - Operação e Manutenção

Com a necessidade de geração de energia em função da demanda alta e perda de potência em função do deplecionamento dos reservatórios, os geradores estão operando fora das suas características e em muito dos casos acima dos limites térmicos. Isto associado a restrição de tempo para a parada da máquina realização das devidas manutenções. Tudo isto irá abreviar a vida útil da máquina e em casos mais graves, podemos ter falhas e até acidentes de vulto.

3.5.6 – Considerações

Os equívocos, erros individualmente ou todos associados podem criar um defeito que se não identificados ou não tomar devidas ações podem tornar uma falha e em muitos casos podendo evoluir para um acidente. Este é a rota de ocorrência dos eventos como apresentado na figura 6.

Devido a estes fatos os geradores fabricados nas últimas décadas têm tido muitos problemas e muitos com falhas prematuras. O fato é que os geradores não têm mais a vida útil dos fabricados nas décadas de 70 a 90. Os atuais modelos de obtenção das concessões dos empreendimentos induzem os concessionários a reduzirem os custos dos empreendimentos e associado a ausência ou frágil especificação técnica do gerador, levam a aquisição de

equipamento que terá uma vida útil bem menor que o prazo de concessão do empreendimento, que normalmente é de 30 ou 35 anos.

4.0 - CONCLUSÃO

A vida útil do gerador está diretamente associada ao fornecimento do gerador baseado em uma boa especificação técnica, com o devido acompanhamento do owner engineering nas etapas de projeto, fabricação, montagem e comissionamento.

Para os geradores já em operação não temos muito o que fazer, a não ser identificar as fragilidades e monitorá-los e preparar-se para a aquisição de um bom bobinado. Novamente é fundamental ter-se uma boa especificação técnica para poder escolher um bom fornecedor.

Devemos ter o equipamento que não necessitam de grandes investimentos no período da concessão, deste modo, os geradores deveriam ter a vida útil de pelo menos 30 anos.

Podemos verificar que existem certo desconhecimento dos investidores quanto a fazer uma aquisição baseado em uma boa especificação técnica. A existência de uma boa especificação técnica é um seguro de que pelo menos o fornecedor tomará os devidos cuidados.

A experiência tem demonstrado que uma boa especificação técnica não aumente o custo do gerador, muito pelo contrário, em muitos casos reduz-se, pois diminui a incerteza do fabricante.

Como podemos constatar, as máquinas de classe térmica F (155 °C) devem-se adotar a elevação de temperatura de 80 °C, pois considerando temperatura do ar de entrada do gerador de 40 °C, teremos 120 °C de temperatura máxima de operação, onde pela lei de Arrhenius podemos ter uma vida estimada de 240.000 horas ou seja 27,4 anos.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Hara, T.P. - Specification of hydrogenerator stator windings Copel's experience - IRMC - Iris Rotating Machine Technical Conference - Dallas – USA. March 1998

(2) Hara, T.P. - Experiência da COPEL em especificação de bobinados de hidrogeradores - VII ERLAC;

(3) Hara, T.P. - Avaliação do tempo de vida restante das unidades geradoras da UHE GBM e aspectos econômicos - **VI ERLAC**

(4) Hara, T.P. - Envelhecimento de ligas de aço ao silício - **IV SEMEL**

(5) Stone, Greg C., Culbert Ian, Boulter, Edward A., Dhirani, Hussein - Electrical Insulation for Rotating Machines, Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair, IEEE Press Wiley 2014

(6) Stone, Greg C., Culbert Ian, Boulter, Edward A., Dhirani, Hussein - Electrical Insulation for Rotating Machines, Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair, IEEE Press 2004

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Nome: Takao Paulo Hara

Local de Nascimento e Data: Nova Esperança-Pr, 28.05.1955

Local de Graduação/Pós-graduação: e Porto Alegre-RS - PUCRS 1979/2003

Experiência Profissional (títulos, publicações, prêmios, áreas de atuação)

Graduado em engenharia elétrica em 1979 pela PUC-RS, trabalhou na Copel - Companhia Paranaense de Energia desde setembro de 1980 até março de 2010, cerca de 30 anos, na área de geração de energia e sendo atualmente Engenheiro Eletricista Consultor na área de Operação e Manutenção de máquinas elétricas rotativas e instrutor do curso de máquinas elétricas rotativas de alta, média e baixa tensão. Possui o curso de Especialização em Manutenção de Usinas Hidrelétricas, curso de pós-graduação em Materiais para Equipamentos Elétricos e curso de pós-graduação em Finanças Empresariais na FGV. Desenvolveu várias pesquisas na área de materiais e técnicas de reparos de máquinas elétricas rotativas. Tem algumas dezenas de trabalhos publicados em congressos e seminários no Brasil e no Exterior. Com trabalhos premiados no I e II SEMASE.

Foi coordenador do GTMU - Grupo de Trabalho de Manutenção de Usinas Hidrelétricas do GCOI - Grupo Coordenador para Operação Interligada, na gestão 96/97 e 98/99. Representou a Copel em Comitês Técnicos de entidades, tais como Cigre, Abrage, Apine e assessor técnico na CPNSEE (NR10) representando a Abrage.

Atualmente é diretor técnico da Hara Engenharia, Diretor da Abramam – Regional PR-SC e Coordenador Técnico MGA-SEL.

Publicação Nacional

Critérios, procedimentos e recursos necessários para manutenção de termômetros - Encontro técnico **GTMI/GCOI**;
Transformadores de potencial da SE/SF6 de UHE GBM - problemas ocorridos e providências adotadas - **X SNPTEE**;

Caracterização de materiais dielétricos utilizados na manutenção dos geradores - **XI SNPTEE**;

Estudo de fatores que afetam a formação da patina em comutadores e anéis coletores de máquinas rotativas - fatores técnicos não convencionais e econômicos - **XI SNPTEE**;

Máquinas elétricas rotativas - Novos paradigmas **XXII SNPTEE**;

Manutenção e substituição de transformadores isolados a ascarel - I Congresso Brasileiro da **ABRAMAN**;

Sistema de controle de bateria - **ABRAMAN**;

Critérios usados pela **COPEL** para retirada de operação de barras estatóricas com isolamento classe F e reparo localizado das mesmas - **ABRAMAN**;

Caracterizações de materiais utilizados na manutenção de geradores - **II SEMEL**;

Emprego de método estatísticos na análise dos resultados de ensaios de resistividade superficial de elastômeros condutivos desenvolvidos pela **COPEL** - **II SEMEL**;

Verificação da sanidade de barras estatóricas de hidrogeradores com a utilização de técnica macrográfica - **III SEMEL**;

Compatibilidade de solvente hidrossolúvel com sistemas isolantes a base de resina epóxi-poliéster - **IV SEMEL**;

Envelhecimento de ligas de aço ao silício - **IV SEMEL**;

Tecnologia para reparo localizado em barras estatóricas - **V SEMEL**;

Experiência da **COPEL** em especificação de bobinados de hidrogeradores - **I SEMASE**;

Interpretação de normas - **II SEMASE**;

Análise de desempenho operacional de hidrogeradores e a relação com o programa de parada para manutenção - **II SEMASE**;

Modernização, Repotenciação e Automação da Usina Hidrelétrica Gov. Parigot de Souza – **I Encontro Nacional de Monitoramento**.

Publicação Internacional

Um método de envelhecimento térmico acelerado da isolação de barras estatóricas de hidrogeradores - **V ERLAC**;

Avaliação do tempo de vida restante das unidades geradoras da UHE GBM e aspectos econômicos - **VI ERLAC**;

Solventes alternativos: caracterização, seleção e aplicação na limpeza de máquinas girantes - **VI ERLAC**;

Experiência da **COPEL** em especificação de bobinados de hidrogeradores - **VII ERLAC**;

Localized reparation of stator bars and coils insulation - 8th International symposium on high voltage engineering, Yokohama - Japan;

Insulating materials for hydrogenerators - 8th International symposium on high voltage engineering, Yokohama - Japan;

Valuation about remaining service life of GBM hydraulic power plants units, technical and economical aspects - **4th International conference on properties and applications of dielectric materials, Brisbane – Austrália**;

Specification of hydrogenerator stator windings Copel's experience - IRMC - Iris Rotating Machine Technical Conference - Dallas – USA. March 1998