

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**USINA HIDRELÉTRICA (UHE) TIPO BULBO: PROCEDIMENTO DE
MONTAGEM ELETROMECCÂNICA DO GERADOR**

**CLODOALDO PAULO THOMAZ ESPOSITO
Orientador: Prof. DANIEL FERNANDO DA SILVA**

**Monografia apresentada à Faculdade de
Engenharia Mecânica da UniRV –
Universidade de Rio Verde como parte das
exigências para obtenção do título de
Bacharel.**

**RIO VERDE - GOIÁS
2014**

**FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**USINA HIDRELÉTRICA (UHE) TIPO BULBO: PROCEDIMENTO DE
MONTAGEM ELETROMECAÂNICA DO GERADOR**

**CLODOALDO PAULO THOMAZ ESPOSITO
Orientador: Prof. DANIEL FERNANDO DA SILVA**

**Monografia apresentada à Faculdade de
Engenharia Mecânica da UniRV –
Universidade de Rio Verde como parte das
exigências para obtenção do título de
Bacharel.**

**RIO VERDE - GOIÁS
2014**

**FESURV UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**USINA HIDRELÉTRICA (UHE) TIPO BULBO: PROCEDIMENTO DE
MONTAGEM ELETROMECAÂNICA DO GERADOR**

CLODOALDO PAULO THOMAZ ESPOSITO

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção do grau de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA** e aprovada em sua forma final.

Prof. Daniel Fernando da Silva
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Ms. Weliton Eduardo Lima de Araujo

Prof. Sevânio da Costa

Prof. Me. João Pires de Moraes
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

RIO VERDE - GO

2014

DEDICATÓRIA

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado paciência e persistência nessa longa jornada da minha vida.

Dedico esta monografia aos meus familiares que sempre estiveram ao meu lado me ajudando e nunca mediram esforços para isso, ao meu orientador e aos meus professores por ensinar e mostrar que o conhecimento é algo que está sempre se renovando.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade que ele está me proporcionando, a minha mãe, Iracema Pinkoski Esposito, mulher simples, mas de grande coração, ao meu pai, Pedro Esposito, homem trabalhador que não mede esforços para me ajudar, aos meus irmãos, Geraldo José Esposito, Elizangela Esposito, Elizete Esposito, Marizete Esposito, Elpidia Esposito e o caçula, Everaldo Deyson Esposito, aos meus cunhados William de Oliveira Honorato, Wilson Gaspar Honorato e Pedro Honorato ao meu sogro José Gaspar Honorato e a minha sogra Maria de Oliveira Honorato e principalmente minha esposa Alice Meire Honorato Esposito e meu filho Miguel Honorato Esposito pessoas importantes neste meu desenvolvimento profissional, pois no final de cada vitória sempre se inicia um novo desafio.

RESUMO

ESPOSITO, Clodoaldo Paulo Thomaz. **Usina hidrelétrica (UHE) tipo bulbo**: procedimento de montagem eletromecânica do gerador. 2014. 32f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - UniRV - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014¹.

Este trabalho tem como objetivo estabelecer um roteiro para a execução da montagem de Campo do gerador, não pretende obrigar a usar estes procedimentos de trabalho, que são próprios de cada empresa, mas orientar a mesma sobre as precauções que deverão ser tomadas durante a montagem de cada máquina. Os procedimentos de montagem descritos neste trabalho são geralmente aqueles utilizados na obra pelo nosso serviço de montagem para esse tipo de máquina. Em cada tópico, faz-se referência aos desenhos de montagem, que mostram as peças ou conjunto de peças envolvidas na montagem. Os croquis representados neste trabalho, não são as únicas fontes de referência para o montador, que também deverá utilizar os documentos de referência, em sua última revisão para realização da montagem. Assume-se que o montador esteja familiarizado com os princípios básicos e ferramentas envolvidas no trabalho de montagem do gerador.

PALAVRAS-CHAVE

Gerador, Armazenagem, Pré-montagem, Montagem, Testes de comissionamento.

¹ Banca examinadora: Prof. Daniel Fernando da Silva (Orientador); Prof. Ms. Weliton Eduardo Lima de Araújo; Prof. Sevânio da Costa – UniRV.

ABSTRACT

ESPOSITO, Clodoaldo Paulo Thomaz. **Hydroelectric power plant (HPP) bulb type:** electromechanical assembly procedure generator. 2014. 32p. Monograph (Undergraduate Mechanical Engineering) - UniRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2014².

This work aims to establish a roadmap for the implementation of the assembly field generator, not intended to require the use of these procedures work, which are specific to each company, but the same guidance on precautions to be taken during assembly of each machine. Assembly procedures described herein are generally those used in the work by our assembly service for this type of machine. Under each topic, reference is made to the assembly drawings showing the parts or assembly of parts involved in the assembly. The sketches shown in this work, are not the only sources of reference for the assembler, which will also use the reference documents in its latest revision to perform the assembly. It is assumed that the assembler is familiar with the basic principles and tools involved in the work of assembling the generator.

KEYWORDS

Generator, storage, pre -assembly, assembly, commissioning tests.

² Examiners: Prof. Daniel Fernando da Silva (Mastermind); Prof. Ms. Weliton Eduardo Lima de Araújo; Prof. Sevânio da Costa – UniRV.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Materiais embalados.....	13
FIGURA 2 - Armazenagem em áreas cobertas.....	14
FIGURA 3 - Nariz do bulbo nose.....	16
FIGURA 4 - Carcaça do estator.....	18
FIGURA 5 - Croqui ilustrativo do dispositivo de suporte do pré-chapeamento.....	20
FIGURA 6 - Empilhamento das chapas do núcleo do estator.....	21
FIGURA 7 - Enrolamento e conexões do estator.....	22
FIGURA 8 - Introdução das barras inferiores na ranhura.....	23
FIGURA 9 - Cunhagem das ranhuras.....	24
FIGURA 10 - Barras conectadas prontas para o teste de comissionamento.....	25
FIGURA 11 - Montagem dos pólos do rotor / conexões.....	25
FIGURA 12 - Nariz do bulbo.....	26
FIGURA 13 - Acessórios.....	27
FIGURA 14 - Vista interna do gerador.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1 História da evolução das usinas hidrelétricas	11
2.2 Definições sobre a energia das usinas hidrelétricas	12
3 DESENVOLVIMENTO	13
3.1 Armazenamento de peças e materiais	13
3.1.1 Materiais embalados.....	13
3.1.2 Armazenagem em áreas cobertas.....	14
3.1.3 Armazenagem em áreas descobertas.....	16
3.1.4 Armazenagem das chapas do núcleo do estator.....	16
3.2 Procedimentos de montagem eletromecânica do gerador	17
3.2.1 Estator gerador	17
3.2.2 Condições necessárias	17
3.2.3 Procedimento de montagem para cada máquina.....	18
3.2.3.1 Carcaça do estator	18
3.2.3.2 Guias rabo de andorinha das cunhas do núcleo	19
3.2.3.3 Pré-chapeamento do núcleo	19
3.2.3.4 Empilhamento das chapas do núcleo do estator.....	21
3.2.3.5 Enrolamento e conexões do estator	22
3.2.3.6 Embutimento das barras	23
3.2.3.7 Cunhagem das ranhuras	24
3.2.3.8 Ensaio elétrico nas barras superiores + inferiores.....	24
3.2.3.9 Montagem dos pólos do rotor / conexões	25
3.2.3.10 Nariz do bulbo.....	26
3.2.3.11 Acessórios	27
3.2.3.12 Cuidados especiais com o equipamento durante a montagem.....	27
3.2.3.13 Procedimento completo da montagem do gerador.....	29
4 CONCLUSÃO	32

REFERÊNCIAS 33
ANEXOS.....35

1 INTRODUÇÃO

Em função do desenvolvimento das usinas hidrelétricas este trabalho tem o objetivo de orientar os usuários nas atividades de montagem do gerador das UHE tipo bulbo. Fornecendo também informações técnicas complementares aos desenhos, critérios e cuidados a serem seguidos de acordo com as melhores práticas e normas aplicáveis, com o propósito de proporcionar segurança e proteção às pessoas, ao produto e ao meio ambiente. Todos os regulamentos técnicos locais relativos à segurança devem ser observados durante os trabalhos com os equipamentos, em adição às instruções contidas neste trabalho. E os serviços a serem executados nas várias partes do equipamento devem ser realizados somente por pessoal qualificado.

O supervisor de montagem poderá modificar a sequência de montagem bem como os procedimentos de controle, em função de eventuais problemas que ocorram durante a montagem, desde que as alterações destes procedimentos não afetem as características funcionais e dimensionais do equipamento e garantam a qualidade do trabalho realizado, assim como o prazo para conclusão do mesmo. Os protocolos de controle a serem preenchidos são indicados a cada fase de montagem.

Quanto às ferramentas necessárias à realização da montagem como exemplos (chaves, dispositivos, ferramentas de medição, macacos, porca hidráulica etc) que fazem parte das ferramentas tradicionais utilizadas pela montadora para esse tipo de equipamento, que devem ser adequadas a cada tipo de tarefa a ser realizada.

Neste trabalho, diversos dos componentes a serem montados são identificados pela sua referência bem como o grupo ao qual pertencem. Desta forma as identificações são apresentadas conforme exemplo a seguir: “...fixar os polos através dos 4 tirantes (Ref. 037 Gr.37)...”, ou seja, Ref. 037 é o item/referência do tirante que pertence ao grupo dos polos (Gr.37). Esta identificação tem por objetivo facilitar a identificação das peças a serem montadas em cada etapa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 História da evolução das usinas hidrelétricas

A primeira usina hidrelétrica do mundo foi construída no final do século XIX – quando o carvão era o principal combustível e as pesquisas sobre petróleo ainda engatinhavam – junto às quedas d’água das Cataratas do Niágara. Até então, a energia hidráulica da região tinha sido utilizada apenas para a produção de energia mecânica. Na mesma época, e ainda no reinado de D. Pedro II, o Brasil construiu a primeira hidrelétrica, no município de Diamantina, utilizando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, com 0,5 MW (megawatt) de potência e linha de transmissão de dois quilômetros.

Em pouco mais de 100 anos, a potência instalada das unidades aumentou significativamente – chegando a 14 mil MW, como é o caso da binacional Itaipu, construída em parceria por Brasil e Paraguai e hoje a maior hidrelétrica em operação do mundo. O que evoluiu foram as tecnologias que permitem a obtenção de maior eficiência e confiabilidade do sistema.

Para produzir a energia hidrelétrica é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d’água, ou criados artificialmente.

Já a estrutura da usina é composta, basicamente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada. A barragem tem por objetivo interromper o curso normal do rio e permitir a formação do reservatório. Além de “estocar” a água, esses reservatórios têm outras funções: permitem a formação do desnível necessário para a configuração da energia hidráulica, a captação da água em volume adequado e a regularização da vazão dos rios em períodos de chuva ou estiagem. Algumas usinas hidroelétricas são chamadas “a fio d’água”, ou seja, próximas à superfície e utilizam turbinas que aproveitam a velocidade do rio para gerar energia. Essa usina fia d’água reduz as áreas de alagamento e não formam reservatórios para estocar a água ou seja, a ausência de reservatório diminui a capacidade de armazenamento de

água, única maneira de poupar energia elétrica para os períodos de seca. Os sistemas de captação e adução são formados por túneis, canais ou condutos metálicos que têm a função de levar a água até a casa de força. É nesta instalação que estão as turbinas, formadas por uma série de pás ligadas a um eixo conectado ao gerador. Durante o seu movimento giratório, as turbinas convertem a energia cinética (do movimento da água) em energia elétrica por meio dos geradores que produzirão a eletricidade. Depois de passar pela turbina, a água é restituída ao leito natural do rio pelo canal de fuga. Os principais tipos de turbinas hidráulicas são: Pelton, Kaplan, Francis e Bulbo. Cada turbina é adaptada para funcionar em usinas com determinada faixa de altura de queda e vazão. A turbina tipo Bulbo é usada nas usinas fio d'água por ser indicada para baixas quedas e altas vazões, não exigindo grandes reservatórios.

Por último, há o vertedouro. Sua função é permitir a saída da água sempre que os níveis do reservatório ultrapassam os limites recomendados. Uma das razões para a sua abertura é o excesso de vazão ou de chuva. Outra é a existência de água em quantidade maior que a necessária para o armazenamento ou a geração de energia. Em períodos de chuva, o processo de abertura de vertedouros busca evitar enchentes na região de entorno da usina.

2.2 Definições sobre a energia das usinas hidrelétricas

É a energia que vem do movimento das águas, usando o potencial hidráulico de um rio de níveis naturais, queda d'água ou artificiais. Essa energia é a segunda maior fonte de eletricidade do mundo. Frequentemente constroem-se represas que reprimem o curso da água, fazendo com que ela se acumule em um reservatório denominado barragem. Toda a energia elétrica gerada dessa maneira é levada por cabos, dos terminais do gerador até o transformador elevador. A energia hidrelétrica apresenta certos problemas, como consequências socioambientais de alagamentos de grandes áreas.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Armazenamento de peças e materiais

Imediatamente após o recebimento do volume ou embalagens na obra, deve-se controlar pela lista de materiais (lm) externamente todos os lados da mesma com relação a danos. Caso existirem, verificar se o conteúdo está danificado.

Deve-se também controlar pela lm as peças maiores transportadas sem embalagem.

Constatado algum dano, este deve ser registrado e comunicado imediatamente ao representante de recebimento de materiais de cada empresa ou às partes envolvidas para as providências aplicáveis.

As instruções abaixo trazem os requisitos que devem ser seguidos para os vários tipos de materiais e partes do gerador, bem como as formas de armazenamento, assim como no Procedimento de Armazenagem de Materiais em Obra.

3.1.1 Materiais embalados



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 1 - Materiais embalados.

As embalagens, conforme (Figura 1) quando hermeticamente envolvidas em plástico, contêm internamente o agente anti-higroscópico Sílica Gel. A quantidade é suficiente para permitir um período de armazenagem de 6 meses.

Porem, a cada 5 meses controlar a saturação da Sílica Gel; caso seja necessário, recuperar ou substituir a Sílica Gel.

Processo de Regeneração da Sílica Gel: A Sílica Gel branca pode sofrer até 4 processos de ressecagem para regeneração. Depositar a sílica gel em uma bandeja e colocar na estufa a 150°C durante 4 horas. Após a regeneração, a sílica gel deve apresentar o aspecto de novo, firme e compacto (não deve se esfarelar).

Este tipo de material deve ser armazenado em galpões ou áreas cobertas para impedir que as embalagens plásticas fiquem expostas à ação do tempo.

3.1.2 Armazenagem em áreas cobertas



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 2 - Armazenagem em áreas cobertas.

Quando aplicável à montagem dos geradores, as seguintes recomendações deverão ser observadas: os pólos, anéis coletores e barramentos blindados, devem ser armazenados em um local coberto, livres de umidade e poeira, não remover das embalagens.

As barras estatóricas devem ser armazenadas em local coberto(Figura 2), fechado e com ventilação.

Para a armazenagem de peças total ou parcialmente usinadas, por períodos maiores que 6 meses a empresa mantenedora do almoxarifado da obra deve, seguir as seguintes instruções relativas à proteção contra oxidação das superfícies:

- Periodicidade de Inspeções: No quinto mês de armazenagem, e a cada 5 meses subsequentes, toda superfície usinada deve ser cuidadosamente avaliada quanto a possíveis indícios de oxidação.
- Remoção da Proteção Temporária Contra Oxidação: aplicar diluente,

inicialmente com uma espátula de teflon e em seguida com pincel, trincha, pano ou rolo de pintura (todos limpos e secos).

- **Especiais Cuidados:** Para esta remoção, não utilizar instrumentos metálicos duros (tipo espátula metálica), para não danificar a superfície. Durante a remoção, evitar tocar nas áreas pintadas. Caso sejam afetadas, essas áreas deverão ser retocadas, de acordo com as instruções específicas de pintura.
- **Análise das Superfícies:** Analisar toda a superfície quanto a sinais de início de oxidação. Havendo indícios, usar lupa para melhor avaliação. Registrar o fato e acionar o responsável por ações.
- **Eliminação da Oxidação com Lixamento:** Analisar o grau de acabamento da superfície (Ra).
 - - Lixa 100 produz $Ra > 3,5 \mu m$
 - - Lixa 280 produz $Ra > 1,6 \mu m$ – usar querosene para auxiliar
 - - Lixa 400 produz $Ra > 1,0 \mu m$ – usar querosene para auxiliar
 - - Lixa 600 produz $Ra > 0,8 \mu m$ – usar querosene para auxiliar
 - Após a limpeza, usar polidor com flanela.
- **Eliminação da Oxidação por Jateamento:** Micro esferas de vidro, com granulométrica de $\varnothing 105 / 210 \mu m$ – recomendado para superfícies com $Ra > 3,2 \mu m$.
- **Eliminação da oxidação por decapagem química:** Não altera a rugosidade da superfície, se aplicados adequadamente. Reagentes à base de ácido fosfórico tornam a superfície com coloração acinzentada, típica de fosfatização.
- **Reaplicação da Proteção Antioxidação:** A remoção da antiga proteção e a aplicação da nova proteção devem ser feitas no mesmo turno de trabalho, dentro de no máximo 12 horas. Lavar toda a superfície com diluente e pano. Antes de o diluente evaporar totalmente, passar pano seco para terminar a limpeza. Não podem permanecer manchas na superfície. Aplicar a proteção contra oxidação (óleo rust preventive) numa espessura de 60 a 100 μm , com rolo ou pincel. Nunca aplicar a proteção numa superfície contendo umidade. Os pontos de apoio da peça, contendo a proteção, sobre madeira, chumbo, alumínio, etc, deverão ter um plástico separador, também untado de óleo.
- **Segurança e Proteção Ambiental:** Não fumar nos locais onde houver trabalhos com reagentes, óleo e outros produtos químicos. Evitar o contato direto com a

pele, durante o manuseio de soluções químicas. Proteger as mãos e os olhos. Todos os resíduos deverão, após os trabalhos, ser coletados para eliminação. Obs: qualquer necessidade de eliminação de oxidação deve ser comunicada ao supervisor do fabricante.

3.1.3 Armazenagem em áreas descobertas



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 3 - Nariz do bulbo nose.

A armazenagem em áreas descobertas é aplicável para as peças de grande porte, como exemplo: segmentos de carcaça do estator, câmara, segmentos do *Stay Column*, seções do *Stay Cone*, Nariz do Bulbo (Figura 3), etc, e que por algum motivo tenham que permanecer além do período previsto de armazenagem. Tais peças são expedidas para obra com pintura de fundo, e óleo de proteção anti-ferrugem nas partes usinadas.

Armazenagem: Apoiar as peças sempre que possível sobre as partes pintadas. Caso seja sobre parte usinada, usar plástico de proteção e apoio de madeira de \varnothing min. 150 mm de altura e separado com placa de alumínio anodizado. Confirmar que a superfície tem generosa camada de óleo de proteção. O solo da área de armazenagem deverá ter brita e ser inclinado para evitar poças d'água. Após a colocação do material no piso cobrir com lona a fim de evitar danos a pintura do material destinado à instalação abrigada.

Controle Durante o Período de Armazenagem: A cada 2 meses controlar o estado da superfície.

3.1.4 Armazenagem das chapas do núcleo do estator

Controle de Recebimento na Obra: Controlar externamente todas as caixas. Caso

existam danos na caixa, verificar se os invólucros não possuem danos. O invólucro deve permanecer hermeticamente fechado, sem aberturas. Se as caixas estiverem somente molhadas, secar ao sol antes da armazenagem.

Armazenagem: Armazenar sobre estrados, em local coberto, fechado e bem ventilado. Não empilhar mais que 4 estrados sobrepostos. As embalagens empregadas são suficientes para armazenagens de pelo menos 12 meses. Tempos maiores deverão ser analisados com a fábrica.

3.2 Procedimentos de montagem eletromecânica do gerador

A montagem deve obedecer a ordem de colocação de cada parte do Gerador, primeiramente são montadas as partes fixas do gerador e depois as partes móveis, segue-se na sequência a classificação de cada peça e seu procedimento de montagem de acordo com as normas do fornecedor.

3.2.1 Estator gerador

Parte estática da máquina, montada em volta do rotor, de forma que o mesmo possa girar internamente. Também é constituído de material ferromagnético, envolto em um enrolamento de baixa potência chamado de enrolamento de campo que tem a função apenas de produzir um campo magnético fixo para interagir com o campo da armadura.

3.2.2 Condições necessárias

O procedimento de montagem do estator Gerador deve ser executado de acordo com o projeto, e com qualidade que garanta uma operação satisfatória do equipamento. Uma eventual modificação necessária somente poderá ser realizada com prévia aprovação do departamento de engenharia e de acordo com a instância competente do cliente.

Especial atenção deve ser dada a:

- Folgas;
- Soldas;
- Acoplamentos;
- Aperto de tirantes, parafusos e porcas;
- Travamento de parafusos e porcas;

- Chapeamento do núcleo do estator;
- Circularidade / Altura do núcleo do estator;
- Montagem do enrolamento;
- Oscilação do eixo (*run-out*);
- Verticalidade e retilinidade do eixo;
- Entreferro.

Se um evento for executado com tolerâncias não permitidas, o evento seguinte não deve ser iniciado antes da aprovação do evento anterior.

Após a instalação dos mancais em seus locais definitivos, não devem ser executadas soldagens em parte alguma do gerador sem antes fixar o cabo de aterramento na parte a ser soldada.

As partes embutidas no concreto devem atender as tolerâncias estabelecidas nos desenhos.

A ponte rolante deve estar em perfeitas condições de uso, estar testada e liberada para operação em sua plena capacidade. Os operadores da ponte rolante devem ser treinados e capacitados para esta função.

Os dispositivos de montagem e ferramentas especiais de propriedade do fornecedor, usadas para transporte e no processo de montagem em geral que não serão mais necessárias na montagem, devem retornar à fábrica, com a correspondente documentação de despacho.

3.2.3 Procedimento de montagem para cada máquina

3.2.3.1 Carcaça do estator



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 4 - Carcaça do estator.

O procedimento de montagem da carcaça do estator (Figura 4), deve seguir os passos mencionados abaixo para esse tipo de máquina.

- Posicionar os segmentos do estator sobre os pedestais de apoio;
- Nivelar a carcaça;
- Realizar a limpeza dos flanges;
- Acoplar os 2 (dois) segmentos da carcaça, tensionando os tirantes de aperto;
- Executar a solda de vedação nas junções;
- Controlar o nivelamento e a circularidade da carcaça antes e após acoplamento e solda;
- Retocar a pintura da carcaça na região das soldas.

3.2.3.2 Guias rabo de andorinha das cunhas do núcleo

Remover a pintura (se aplicável) na “prateleira inferior” (suporte central da placa de pressão e guia central do rabo de andorinha da carcaça, nas regiões onde serão soldadas as guias rabo de andorinha após a união dos segmentos da carcaça e alinhadas com as prateleiras do elemento “V”. Encaixar os guias rabo de andorinha nas cunhas antes da montagem das cunhas na posição final. Posicionar as cunhas equidistantes na circunferência alinhando o “rabo de andorinha” das cunhas com os guias rabo de andorinha, fixando-as através dos guias rabo de andorinha por meio de parafusos e porcas, aplicando torque especificado no desenho, eventuais ajustes poderão ser necessários ao decorrer da montagem.

Usar topografia (se necessário) para ajuste da verticalidade e corda dessas cunhas mestras.

Após todos os ajustes, soldar as guias rabo de andorinha, executar os ensaios de LP e retoques de pintura.

3.2.3.3 Pré-chapeamento do núcleo

Primeiramente posicionar uma proteção sobre o estator a fim de evitar entrada de poeira no estator durante as atividades do empilhamento das chapas. Indicar que o acesso de pessoal autorizado e material deverá ser pela parte inferior da carcaça.

Executar o pré-chapeamento inferior, aproximadamente 25 mm de altura, controlando sua posição centrada em relação aos dedos de pressão e aos furos para passagem

dos tirantes na carcaça. Se necessário, ajustar os dedos de pressão de modo que fiquem centrados em relação aos dentes das chapas.

Durante o chapeamento, o sulco estampado na borda externa das chapas do núcleo deve estar posicionado sempre do lado direito, visto do lado de quem monta a chapa. Verificar se não há chapas sobrepostas durante o chapeamento. Se houver, o defeito deve ser corrigido, retirando as chapas até atingir aquela que foi erroneamente montada. Depois de terminado este pacote, colocar os guias anteriormente preparados (formando um par), regulando sua espessura por meio de calços de papel numa espessura igual à largura da ranhura estampada (dentro das ranhuras). Após o término deste pacote, ajustar o alinhamento tangencial das chapas por meio do calibrador e macete de nylon. Em frente às cunhas, ajustar o alinhamento radial das chapas, utilizando um martelinho de borracha ou de náilon, batendo bem de leve.

Para auxiliar o pré-chapeamento superior e intermediário (se necessário) do estator, deve-se primeiramente montar os dispositivos dos suportes de pré-chapeamento, sendo: posicionar os dispositivos nas colunas em “V”, referenciando as cunhas de rabo de andorinha, de forma a garantir dois pontos de suporte por chapa (Figura 1).



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 5 - Croqui ilustrativo do dispositivo de suporte do pré-chapeamento.

3.2.3.4 Empilhamento das chapas do núcleo do estator



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 6 - Empilhamento das chapas do núcleo do estator.

O empilhamento de montagem das chapas do núcleo do estator (Figura 6) deve seguir os seguintes procedimentos:

- Montagem do dispositivo para controle da circularidade do estator;
- Montagem e fixação das placas de pressão inferiores;
- Preparar andaimes e dispositivos auxiliares necessários;
- Pré-chapeamento do núcleo do estator, em dois níveis;
- Montagem / soldagem das guias das cunhas rabo de andorinha;
- Empilhamento das chapas do núcleo do estator;
- Inserir os sensores de medição de temperatura (RTD, tipo PT100) no núcleo;
- Controlar a circularidade do estator em cada etapa de compactação do núcleo, em 32 pontos da periferia do estator, utilizando-se o dispositivo de centragem;
- Controlar a verticalidade do estator em cada etapa de compactação do núcleo, em 32 pontos da periferia do estator;
- Prensagem final do empilhamento das chapas do núcleo do estator;
- Ensaio de magnetização no núcleo do estator.

3.2.3.5 Enrolamento e conexões do estator



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 7 - Enrolamento e conexões do estator.

Depois do empilhamento das chapas do estator e da isolamento das barras estatóricas devemos fazer o enrolamento e conexões do estator (Figura 7) e seguir os passos abaixo.

- Preparar andaimes e dispositivos auxiliares necessários;
- Posicionar / fixar os anéis de surto nas junções dos segmentos;
- Montar / embutir as barras inferiores nas ranhuras utilizando sistema específico de cada fornecedor;
- Executar a limpeza nas barras inferiores após bobinagem;
- Executar as amarrações das barras inferiores com o anel de surto;
- Executar os ensaios elétricos nas barras inferiores;
- Montar os calços separadores e RTD's;
- Montar / embutir as barras superiores nas ranhuras utilizando sistema específico de cada fornecedor;
- Executar a limpeza nas barras superiores após bobinagem;
- Executar a cunhagem das ranhuras utilizando o sistema específico de cada fornecedor;
- Executar os ensaios elétricos nas barras superiores;
- Executar as amarrações das barras superiores;
- Qualificação dos Brasadores;
- Executar a brasagem das ligações / conexões / barramento;
- Lixar e limpar as brasagens;
- Isolar as ligações / conexões / barramento;
- Limpeza do enrolamento completo;
- Executar os ensaios elétricos no enrolamento completo;

- Executar pintura final do núcleo e enrolamento do estator;
- Montar o dispositivo para transporte e tombamento do estator.

3.2.3.6 Embutimento das barras



Fonte: UHE Santo Antônio (2013).

FIGURA 8 - Introdução das barras inferiores na ranhura.

No caso de ranhuras muito longas (Figura 8) ou de uma barra levemente deformado devido uma seção muito fina, podem surgir dificuldades na inserção da barra. Como consequência a barra acaba entrando muito justa e para prevenir a ocorrência de "danos" que poderiam danificar a isolamento da barra ou poderiam romper o papel condutivo, é utilizada uma proteção nas extremidades dos cantos da ranhura, facilitando o seu deslizamento. Com uma folha de papel isolante (por exemplo, NOMEX), formar um perfil L-amoldado. Colocar dois deles na parte superior do núcleo (um cada lado da ranhura) e dois deles igualmente posicionados na parte inferior do núcleo.

Os perfis "L" servirão como guias de proteção durante o deslizamento da barra na ranhura, e devem ser removidos depois das barras inseridas.

Todas as barras são identificadas com um número. O número fica estampado na ligação corrente, no cobre. Um registro deve ser criado, identificando que barra está montada em que ranhura e em que posição. E preencher os protocolos de controle PC.

Após a montagem de todas as barras inferiores e antes do início da montagem das barras superiores, será necessário realizar testes de isolamento e alta tensão, para assegurar que o isolamento das barras não sofreu nenhum dano na montagem. Provisoriamente, ligue todas as barras entre si por meio de um arame flexível de cobre, enrolado nas extremidades sem isolamento das barras, na face superior ou inferior, e aplique tensão contra terra por meio de

um HIPOT (High Voltage Test Equipment – Equipamento de Teste de Alta Tensão).

3.2.3.7 Cunhagem das ranhuras



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 9 - Cunhagem das ranhuras.

As ranhuras (Figura 9) são fechadas com cunhas e molas “*ripple spring*”, que exerce pressão uniforme na barra superior. Para atingir a pressão requerida, tiras de enchimento são introduzidas sob a “*ripple spring*”. Sobre as barras superiores, ajuste a fita de deslizamento. Para as tiras de enchimento que devem ser inseridas, precisa-se primeiro determinar a quantidade necessária para obtenção da espessura correta.

As cunhas devem ser posicionadas mantendo os furos laterais alinhados com os canais coletores de ar do núcleo do estator. Tiras de enchimento adicionais são necessárias para o ajuste das cunhas. Começando com a cunha central, insira as cunhas superiores da ranhura, a partir da parte superior, e as cunhas inferiores, a partir da parte inferior, empurrando até a posição final ser alcançada. Na inserção, uma nova tira de enchimento será necessária.

As últimas cunhas, nas extremidades da ranhura, são diferentes. As cunhas superiores e inferiores da ranhura devem ser travadas em ambas as extremidades do núcleo do estator, impedindo o afrouxamento ao longo de toda operação adicional da máquina.

3.2.3.8 Ensaios elétricos nas barras superiores + inferiores

Após a instalação de todas as barras e antes da brasagem das ligações de corrente (dedos ou placas) entre as barras, é necessária a realização de teste resistência de isolamento e de

tensão aplicada intermediário. A finalidade é assegurar que não ocorreram danos no isolamento da barra durante a instalação. Para esse teste, ligue provisoriamente todas as barras entre si por meio de um arame flexível de cobre enrolado nas extremidades das barras sem isolamento, na face superior e inferior do estator, e aplique tensão contra terra mediante um HIPOT.



Fonte: UHE Santo Antônio (2013).

FIGURA 10 - Barras conectadas prontas para o teste de comissionamento.

Após a instalação de todas as barras (Figura 10), da montagem correta das cunhas e da realização do teste de alta tensão a brasagem das ligações das barras deve ser executada.

3.2.3.9 Montagem dos pólos do rotor / conexões



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 11 - Montagem dos pólos do rotor / conexões.

Para que seja feita a correta montagem dos pólos do rotor / conexões (Figura 11) devemos seguir a sequência de montagem descrita abaixo.

- Nivelamento do anel magnético (conjunto) sobre os pedestais de apoio;
- Montar dispositivo de controle de circularidade por sobre o anel magnético;
- Limpeza do anel magnético, dos pólos e materiais aplicados;
- Montagem dos pólos;
- Nivelamento dos pólos;
- Controlar a circularidade do rotor, em 72 pontos, ou seja, em todos os pólos, utilizando-se o dispositivo de centragem;
- Montagem das conexões dos pólos e barramentos do anel coletor;
- Ensaios elétricos no rotor completo;
- Remover os pólos necessários para fixação do dispositivo de tombamento;
- Montar o dispositivo para transporte e tombamento do rotor.

3.2.3.10 Nariz do bulbo



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 12 - Nariz do bulbo.

Após o recebimento das partes do nariz do bulbo (Figura 12) preparar as mesmas para o acoplamento de pré-montagem seguindo a sequência abaixo.

- Posicionar os segmentos do nariz do bulbo sobre dormentes de apoio;
- Nivelamento do nariz do bulbo;
- Limpeza das flanges;
- Acoplar os dois segmentos, tensionando os tirantes de aperto;
- Executar a solda de vedação nas junções;
- Controlar o nivelamento e a circularidade do nariz do bulbo antes e após acoplamento e solda;
- Pintura do nariz do bulbo;

- Montar o dispositivo para transporte e tombamento do nariz do bulbo.

3.2.3.11 Acessórios



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 13 - Acessórios.

Para a montagem dos acessórios como mancais e o eixo (Figura 13) devemos seguir os procedimentos abaixo.

- Montar o mancal combinado no lado não acoplado LNA/montante do eixo da Turbina, em conjunto com a montagem do mancal guia da turbina no lado acoplado LA/jusante, sem a carenagem de fixação do mancal combinado ao Stay Column;
- Limpeza da carenagem do mancal;
- Preparação do eixo auxiliar do lado do gerador e anel coletor;
- Montar a fiação e instrumentação;
- Preparar seções do duto de acesso do gerador para montagem;
- Preparar eixo prolongador das tubulações Kaplan para montagem;
- Preparar cobertura do gerador;
- Transporte dos componentes para o poço do gerador.

3.2.3.12 Cuidados especiais com o equipamento durante a montagem

Todas as partes da máquina, em particular as partes destinadas a isolamentos e bobinagem (enrolamento) deverão ser manuseadas com o máximo cuidado e atenção. Deve ser dada também especial atenção ao manuseio das peças delicadas com alta precisão de acabamento. Durante os trabalhos, ficar atento / proteger o núcleo do estator, o enrolamento do estator, assim como o apoio das cabeças do enrolamento, para evitar danos acidentais nos

isolamentos. Em nenhum caso se permitirá pisar sobre estas partes da máquina diretamente com sapatos.

Depois de finalizada a montagem do estator, deverá haver cobertura superior e lateral do estator durante todo o processo de montagem, colocar proteção contra poeira e respingos de água ou outros líquidos.

Devem-se evitar trabalhos de soldagem ou de polimento a pouca distancia do chapeamento e enrolamento do estator. Estes trabalhos deverão ser realizados, sempre que possível, em um local adequado.

Em casos excepcionais (soldagem de suportes, montagem final no poço, pintura final e etc), quando o trabalho tiver que ser realizado na máquina, deverão ser asseguradas uma boa proteção contra respingos de soldas e xispas do esmerilhamento. Especial atenção deve ser tomada em relação à ventilação e proteção adequada das partes.

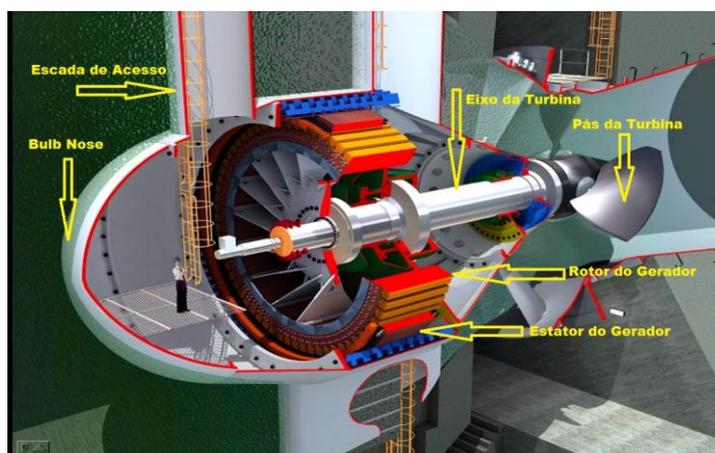
Levantamento de Peças: Quando se tratar de peças especialmente pesadas, os laços de levantamento deverão ser colocados adequadamente nos dispositivos de levantamento determinados especialmente para esta finalidade. As superfícies usinadas deverão ser protegidas com cartões, papelão, madeira ou materiais similares e adequados às necessidades específicas.

Apoio das Peças: As peças da maquina deverão ser sempre apoiadas sobre bases de madeira com uma chapa de proteção em Alumínio, sendo necessário proteger as superfícies usinadas com folhas de plástico.

Peças com superfícies usinadas sensíveis à oxidação, devem ser protegidas com graxa ou óleo limpo, sem acidez e de fácil remoção em qualquer época. Verificar periodicamente o vencimento das validades das proteções e reaplicá-las quando necessário.

Limpeza: Para a limpeza das peças é proibido o uso de solventes à base de halogênios como, por exemplo, tricloretileno. A proteção antioxidação aplicada na fábrica pode ser removida com querosene ou Varsol.

3.2.3.13 Procedimento completo da montagem do gerador



Fonte: UHE de Santo Antônio (2013).

FIGURA 14 - Vista interna do gerador.

Seguem a montagem completa do gerador indicada (Figura 14) das principais etapas da montagem do gerador:

- Montar o eixo da Turbina, inserindo o mesmo pelo lado do gerador, e fixá-lo ao Stay Column através do cone suporte do mancal combinado;
- Descida do nariz do bulbo e posicioná-lo a montante da sua posição final;
- Montar os ventiladores e os trocadores de calor no nariz do bulbo;
- Mover o rotor completo para o poço;
- Acoplamento do rotor com o eixo da Turbina;
- Montagem dos pólos faltantes;
- Descer o estator completo para o poço, e movê-lo sobre o rotor;
- Nivelar, centrar e fixar o estator ao Stay Column;
- Medir entreferro lado LA e acertar circularidade;
- Executar controle de vedação entre flanges de acoplamento;
- Montagem da tubulação de comando do Kaplan;
- Montagem e acoplamento do eixo do lado do gerador com a parte central do rotor;
- Montagem do eixo prolongador (auxiliar) com os anéis coletores;
- Controle de run-out das partes girantes;
- Montagem do Revestimento dos anéis coletores e porta escovas;
- Montagem da base do nariz do bulbo;

- Montagem e acoplamento do nariz do bulbo ao estator;
- Medir entreferro lado LNA e acertar circularidade;
- Executar controle de vedação entre flanges de acoplamento;
- Montagem do duto de acesso do gerador;
- Controle de estanqueidade / vedação entre duto e nariz;
- Pré-montagem dos defletores em torno do duto;
- Montagem das fixações laterais do nariz;
- Montagem da base da cobertura do gerador;
- Montagem da tampa de cobertura do gerador;
- Montagem dos acessos ao interior do duto, tubulações, cablagens e fiações;
- Montar o sistema de iluminação do interior do nariz do gerador;
- Montar o sistema de aquecimento do gerador;
- Montar desumidificador;
- Montar a fiação e instrumentação (incluindo caixa de terminais do gerador);
- Montar a escova de aterramento no eixo;
- Montar a tubulação do sistema de refrigeração ar/água do gerador;
- Montagem dos aterramentos, plataformas, escadas e revestimentos;
- Montagem das guias de ar;
- Montar o sistema de frenagem do rotor;
- Ajustes finais, limpeza final, inspeção final e entrega para comissionamento.

3.2.3.14. Treinamento de Segurança

Cada colaborador dentro de seu campo de atividade é responsável direto pela sua segurança e a de seus colegas de trabalho, pois todos os acidentes podem e devem ser evitados. Para tanto é fundamental a motivação de todos os colaboradores em preveni-los, antes de sua ocorrência. O compromisso de nossos colaboradores será observado através da aplicação da legislação, das normas e regulamentos de segurança internas de nossa empresa e do cliente.

Segundo a NBR-14787 a NR 33 trabalhos em áreas confinadas são uma das maiores causas de acidentes graves. Seja por ocorrência de explosão, incêndio ou asfixia, estes acidentes em muitos casos têm consequências fatais. Os treinamentos visam capacitar os profissionais da área à prevenção de acidentes, procedimentos e medidas de proteção em

espaços confinados e a fim de minimizar e, se possível, eliminar tais acidentes, o trabalho em áreas confinadas é regulamentado no Brasil pelas normas NBR-14787 e NR-33. A ventilação em espaços confinados tem como objetivo principal reduzir a concentração de substâncias tóxicas e/ou perigosas presentes na atmosfera do ambiente confinado seja antes do início dos trabalhos seja no decorrer destes.

O treinamento da NR-35 trabalho em altura tem como finalidade educar para prática de Segurança do Trabalho em Altura, bem como estabelecer os procedimentos necessários para a realização deste trabalho, visando garantir a segurança e saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com esta atividade. A Norma Regulamentar nº35 estabelece os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com esta atividade. Considera-se trabalho em altura toda atividade executada acima de 2,00 m (dois metros) do nível inferior, onde haja risco de queda.

O treinamento da NR-10 tem como objetivo atender as exigências do novo texto da Norma Regulamentadora nº 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Conforme a NR-10, publicada na Portaria 598 do MTE em 07 de dezembro de 2004, estabelecendo diretrizes básicas para implantação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança e saúde, de forma a garantir a segurança dos trabalhadores que direta ou indiretamente interagem em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

Depois de realizados os procedimentos indicados acima, temos a completa montagem do gerador com seus devidos acessórios, e como foco do trabalho é mostrar o procedimento da montagem do gerador da turbina tipo bulbo podemos dizer que de acordo com as especificações técnicas relacionadas acima, concluímos com êxito este trabalho.

4 CONCLUSÃO

Este trabalho tem como finalidade de estabelecer um roteiro para a execução da montagem de campo do gerador, fornecendo também informações de como se deve prosseguir a montagem de cada peça de acordo com o projeto elaborado pelo fornecedor, com o intuito de proporcionar segurança e proteção às pessoas, ao produto e ao meio ambiente.

Deve ser evitada a utilização de produtos cuja fabricação, manuseio, aplicação e manutenção possam oferecer perigo à saúde das pessoas, bem como prejuízo ao meio ambiente. Caso não seja possível evitar a utilização, devem ser tomadas todas as precauções para minimizar o seu impacto.

. Todas as partes da máquina, em particular as partes destinadas a isolamentos e bobinagem (enrolamento) deverão ser manuseadas com o máximo cuidado e atenção. Deve ser dada também especial atenção ao manuseio das peças delicadas com alta precisão de acabamento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cabos de potência com isolamento extrudada de borracha etilenopropileno (EPR) para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho: NBR 7286. São Paulo: ABNT, 2001. 24p.

_____. Capacitores de potência em derivação para sistema de tensão nominal acima de 1 000 V: NBR 5282. São Paulo: ABNT, 1998. 22p.

_____. Coletânea de normas: ensaios elétricos de alta tensão. São Paulo: ABNT, 1985. 150p.

_____. Especificações comuns para normas de equipamentos de manobra de alta-tensão e mecanismos de comando. NBR IEC 60694. São Paulo: ABNT, 2006. 109p.

_____. Guia para instalação e operação de capacitores de potência – procedimento. NBR 5060. São Paulo: ABNT, 2010. 22p.

_____. Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. NBR 5419. São Paulo: ABNT, 2005. 42p.

CAMINHA, A.C. **Introdução à proteção dos sistemas elétricos**. São Paulo: Edgar Blucher, 1997. 224p.

CATÁLOGO DE FABRICANTES. Siemens, General Electric, Sace, Pirelli, Ficap, Cemec, Inepar, Inebrasa, McGraw-Edison, Schlumberger, Trafo, 3M, Hitachi, Lorenzetti.

D'AJUZ, A.; FURNAS; UFF. **Equipamentos elétricos: especificação e aplicação em subestações de alta tensão**. Rio de Janeiro: Furnas, 1985. 285p.

HARPER, G.E. **Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión**. México: Limusa, 1979. 238p.

KOSOW, I.L. **Máquinas elétricas e transformadores**. 15.ed. São Paulo: Globo, 2005. 669p.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 792p.

SARAIVA. D.B. **Materiais elétricos**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1988. 264p.

ANEXOS



Rotor pronto para descer para o poço



Torque das conexões isoladas



Montagem das guias de ar



Solda Brasagem das conexões em serie



Cunhagem definitiva



Preparo e isolamento das barras



Brasagem e amarração de cunhas



Brasagem das conexões em serie



Solda nas tubulações do sistema de resfriamento



Montagem dos ventiladores



Heche cover pronto pra descer para o poço