

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**ATIVIDADES DE COMISSIONAMENTO DE UM
TURBOGERADOR**

**CAMILA BORGES DE SOUZA E
FERNANDA FURTADO DIAS**

**VITÓRIA – ES
NOVEMBRO/2009**

**CAMILA BORGES DE SOUZA E
FERNANDA FURTADO DIAS**

**ATIVIDADE DE COMISSIONAMENTO DE UM
TURBOGERADOR**

Parte manuscrita do Projeto de Pós-Graduação das alunas Camila Borges sde Souza e Fernanda Furtado Dias, apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Pós-graduado em Engenharia de Condicionamento/Comissionamento.

**VITÓRIA – ES
NOVEMBRO/2009**

**CAMILA BORGES DE SOUZA E
FERNANDA FURTADO DIAS**

**ATIVIDADES DE COMISSONAMENTO DE UM
TURBOGERADOR**

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo J. M. Menegáz
Orientador

**Título (Prof., Prof. MsC, Prof. Dr., Eng.)
e Nome completo**
Examinador

Vitória - ES, 01, março, 2010

DEDICATÓRIA

À Ronaldo e Ettore.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os alunos do PROMINP que compartilharam conosco as sextas-feiras e sábados de estudo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Gráfico dos processos termodinâmicos da Turbina a Gás	12
Figura 2- Diagrama esquemático dos processos da Turbina a Gás	12
Figura 3 - Principais Componentes de uma Turbina a Gás.	15
Figura 4-Partes integrantes de Gerador Síncrono Brushless	18
Figura 5- Compressor de Ar	23
Figura 6-Turbina de Potência	25
Figura 7-Controle de Fluxo de Ar destacando as IGV's e Bleed Valve.....	28

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Capacidade instalada de geração**Erro! Indicador não definido.**

SIMBOLOGIA

C_p - Calor específico a pressão constante de um gás perfeito

$P_{MÁX}$ - Pressão ótima para um trabalho de saída máximo no Ciclo de Brayton

P_r - Relação de pressão

T_1 - Temperatura absoluta mínima da energia rejeitada no Ciclo de Brayton

T_3 - Temperatura absoluta máxima de operação no Ciclo de Brayton

$$T_r = T_3/T_1$$

$W_{MÁX}$ - Trabalho de saída do ciclo por unidade de fluxo de massa

η - Eficiência térmica ideal

$\eta_{MÁX}$ - Eficiência térmica máxima

η_R - Eficiência térmica

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELA	IV
SIMBOLOGIA.....	V
SUMÁRIO	VI
RESUMO.....	IX
1 INTRODUÇÃO	10
2 TURBINA A GÁS	11
2.1 Introdução	11
2.2 O Ciclo Termodinâmico	11
2.2.1 Ciclo Ideal	11
2.2.2 Ciclo real	14
2.3 Componentes de uma Turbina a gás	14
2.4 Conclusão.....	16
3 SISTEMAS QUE COMPÕEM UM TURBOGERADOR.....	17
3.1 Introdução	17
3.2 Gerador.....	17
3.2.1 Máquina Principal	17
3.2.1.1 Estator Principal	17
3.2.1.2 Rotor Principal	19
3.2.2 Excitatriz Principal	19
3.2.2.1 Estator da Excitatriz Principal.....	19
3.2.2.2 Rotor da Excitatriz Principal	20
3.2.3 Excitatriz Auxiliar	20
3.2.4 Enrolamento Amortecedor	20
3.2.5 Trocador de Calor.....	21
3.2.6 Mancais	21
3.3 Sistema da Turbina a Gás	21

3.3.1	Gerador de gás (GG)	22
3.3.1.1	Compressor de Ar	22
3.3.1.2	Câmara de Combustão	24
3.3.1.3	Turbina de Alta Pressão	24
3.3.2	Turbina Livre ou Turbina de Potência	25
3.3.3	Sistemas Auxiliares	25
3.3.3.1	Sistema de Óleo Lubrificante	25
3.3.3.2	Sistema de Partida	26
3.3.3.3	Sistema de Ar de Admissão	26
3.3.3.4	Caixa Acústica (<i>Hood</i>)	27
3.3.3.5	Sistema de Ventilação e Combate a Incêndio	27
3.3.3.6	Sistema de Controle de Combustível	27
3.3.3.7	Sistema de Controle de Fluxo de Ar	28
3.4	Conclusão	29
4	ATIVIDADES DE PRÉ-COMISSIONAMENTO	30
4.1	Introdução	30
4.2	Sistema Elétrico	30
4.3	Sistema de Instrumentação	32
4.4	Sistema de Tubulação	32
4.5	Sistema Mecânico	33
4.6	Conclusão	33
5	ATIVIDADES DE COMISSIONAMENTO	34
5.1	Introdução	34
5.2	Inspeção Funcional	34
5.3	Start-up	34
5.4	Teste Funcional	36
5.4.1	Teste de Proteção Elétrica	36
5.4.2	Testes de Carga	37
5.4.3	Teste de Sincronização de Divisão de Carga	38
5.4.4	Teste de Descarte de Carga	39

5.5 Conclusão.....	41
6 CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

RESUMO

Desenvolveu-se um plano de etapas a serem realizadas no comissionamento de um Turbogenerador.

1 INTRODUÇÃO

Este presente trabalho é um estudo técnico realizado com o objetivo de descrever de forma detalhada as etapas de comissionamento de um turbogerador.

No trabalho foram caracterizados os sistemas e sub-sistemas que compõem um turbogerador e as atividades de pré-comissionamento e comissionamento envolvidas para que este entre em operação da forma mais adequada.

Na parte final destacamos os testes necessários a serem realizados para que um turbogerador entre em operação.

2 TURBINA A GÁS

2.1 Introdução

Turbomáquinas são dispositivos que apresentam um fluxo contínuo de um fluido através de uma ou mais fileiras de palhetas rotativas. A energia é extraída ou transferida para o fluido pela ação dinâmica das fileiras de palhetas. Se a energia é extraída do fluido, expandindo-o para uma pressão mais baixa, os dispositivos são chamados de turbinas (a vapor, gás ou hidráulica). Se a energia é transferida ao fluido, aumentando sua pressão, os dispositivos são chamados de bombas, compressores ou ventiladores [1].

Um Turbogenerador é uma turbina a gás acoplada a um gerador síncrono dedicada à geração de energia elétrica. As Turbinas são divididas em duas principais categorias, no que se refere à concepção. São as pesadas, desenvolvidas especificamente para a geração de energia elétrica ou propulsão naval e as aeroderivativas, desenvolvidas a partir de projetos anteriores dedicados a aplicações aeronáuticas.

Será feita uma breve apresentação, do Ciclo Termodinâmico, as partes essenciais de uma Turbina a gás e suas etapas do processo de geração de energia mecânica.

2.2 O Ciclo Termodinâmico

O ciclo termodinâmico da turbina a gás é o ciclo de Brayton, que funciona num ciclo aberto, admitindo ar à pressão atmosférica e descarregando os gases de escape de volta para a atmosfera.

2.2.1 Ciclo Ideal

O ciclo de Brayton consiste em quatro processos. A Figura 1 mostra um diagrama desses processos. O primeiro processo é uma compressão isentrópica onde a pressão do ar aspirado da atmosfera é elevada ao nível de funcionamento de um compressor. Isto constitui o trabalho da entrada do ciclo. O segundo processo é a entrada de energia térmica em uma câmara de combustão, um processo isobárico

(pressão constante) para elevar a temperatura do ar para o nível mais alto permitido na turbina. O terceiro e quarto processos são, respectivamente, uma expansão isentrópica (saída do trabalho) na turbina e um processo de resfriamento isobárico (rejeição de energia para a atmosfera).

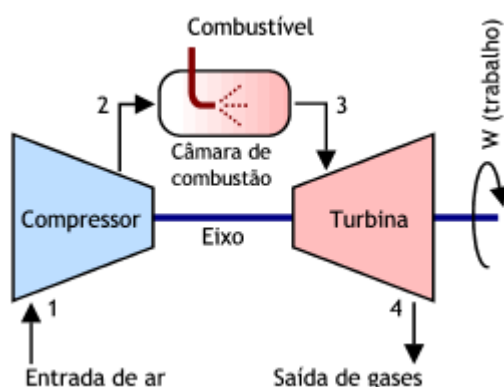


Figura 1- Diagrama esquemático dos processos da Turbina a Gás

FONTE: <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0530.shtml>

A Figura 2 mostra os gráficos de Pressão x Volume (a) e Temperatura x Entropia (b) dos processos da Turbina a gás. O primeiro processo, de compressão isentrópica, é indicado pela linha 1-2. O segundo processo, isobárico, é indicado pela linha 2-3. O terceiro, de expansão isentrópica, é indicado pela linha 3-4. E, por fim, o quarto e último processo, de resfriamento isobárico, é indicado pela linha 4-1.

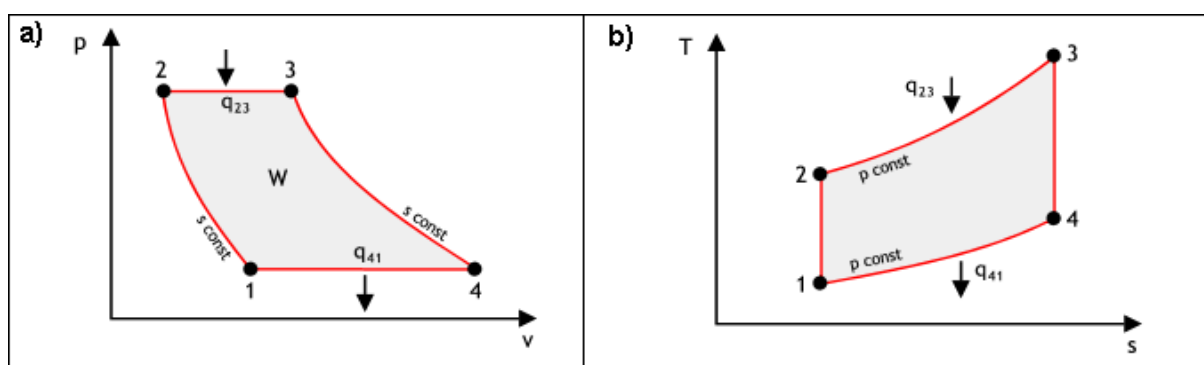


Figura 2- Gráfico dos processos termodinâmicos da Turbina a Gás

FONTE: <http://www.mspc.eng.br/termo/termod0530.shtml>

A eficiência térmica ideal do ciclo é dada pela expressão [1]:

$$\eta = 1 - \left[\frac{1}{P_r} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Pode-se observar que a eficiência térmica do ciclo de Brayton é a mesma que do ciclo de Carnot com a mesma taxa de compressão isentrópica. Entretanto, sua eficiência térmica para um mesmo limite de temperatura é menor que o ciclo de Carnot. Por esta razão, são feitos esforços para operar a turbina a uma alta pressão, quando possível.

O trabalho de saída teórico do ciclo de Brayton é em função da temperatura máxima do ciclo, da temperatura de rejeição de energia e da razão de pressão. Existe uma relação de pressão ideal em que o trabalho produzido é máximo. Essa relação é expressa como:

$$P_{MÁX} = \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\gamma/[2(\gamma-1)]} = P^{1/2}$$

O máximo trabalho de saída do ciclo de Brayton é:

$$W_{MÁX} = C_p T_1 \left[\left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{1/2} - 1 \right]^2$$

As turbinas podem ser projetadas para operar nesta condição. A eficiência térmica do ciclo de Brayton operando na relação de pressão ideal é:

$$\eta_{MÁX} = 1 - \left(\frac{T_1}{T_3} \right)^{1/2}$$

Os gases de escape da turbina a gás, devido a sua alta temperatura, possibilitam a transformação da água em vapor numa caldeira de recuperação de calor para o acionamento e a geração de energia em um turbogerador a vapor (ciclo combinado). O reaproveitamento da energia dos gases de escape da turbina a gás aumenta consideravelmente o rendimento térmico do ciclo combinado o que proporciona a produção de energia elétrica com altíssima eficiência e minimiza a emissão de poluentes.

2.2.2 Ciclo real

O ciclo do motor real difere do ciclo de Brayton teórico em vários aspectos. Em primeiro lugar, os processos de compressão e expansão não são isentrópicos. Assim, o trabalho necessário na entrada do compressor é maior do que no ciclo teórico e o trabalho de saída da turbina é menor. Além disso, há perdas de pressão associadas à câmara de combustão e várias outras partes da máquina. Este, assim como outros desvios da idealidade reduz o trabalho líquido produzido e a eficiência térmica em comparação com a do ciclo Brayton teórico.

Uma medida de eficiência térmica é o consumo específico de combustível, que é a taxa de combustível consumido por unidade de produção. Para um funcionamento eficiente, é necessário ter um baixo consumo de combustível. A redução do combustível pode exigir um aumento da temperatura de entrada ou a utilização de um recuperador (um trocador de calor inserido entre o compressor e a câmara de combustão). O Recuperador transfere parte da energia térmica dos gases de escape para o ar de alta pressão antes de entrar na câmara de combustão e reduz o consumo de combustível. Este ciclo é chamado de Ciclo de Brayton regenerativo. A eficiência térmica do ciclo regenerativo é dada pela expressão:

$$\eta_R = \left(1 - \left[\frac{1}{P_r} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right) / T_r$$

Ao contrário do ciclo Brayton ideal sem regeneração, a eficiência térmica deste ciclo diminui com relação a uma pressão crescente. No entanto, ela aumenta com o aumento da temperatura como no ciclo de Carnot.

2.3 Componentes de uma Turbina a gás

A Figura 3 mostra os principais componentes de uma turbina a gás, o compressor, a câmara de combustão e a turbina.

A relação de pressão em compressores de motores para aviões comerciais é muitas vezes no intervalo de 10-25, embora alguns motores experimentais têm índices de pressão na faixa de 17-35. O compressor geralmente trabalha com fluxo axial em pequenos motores (unidades de energia auxiliar, ou UPA), embora muitas vezes se trabalha com fluxo radial. Cada estágio do compressor é formado por uma fileira de palhetas rotativas que impõem movimento ao fluxo de ar (energia cinética) e uma fileira de palhetas estáticas, que utiliza a energia cinética para compressão. A temperatura do ar é limitada por considerações de ordem material. O ar sai do compressor a uma temperatura que pode variar entre 300°C e 450°C. Cerca da metade da potência produzida pela turbina de potência é utilizada no acionamento do compressor e o restante é a potência líquida gerada que movimenta um gerador elétrico.

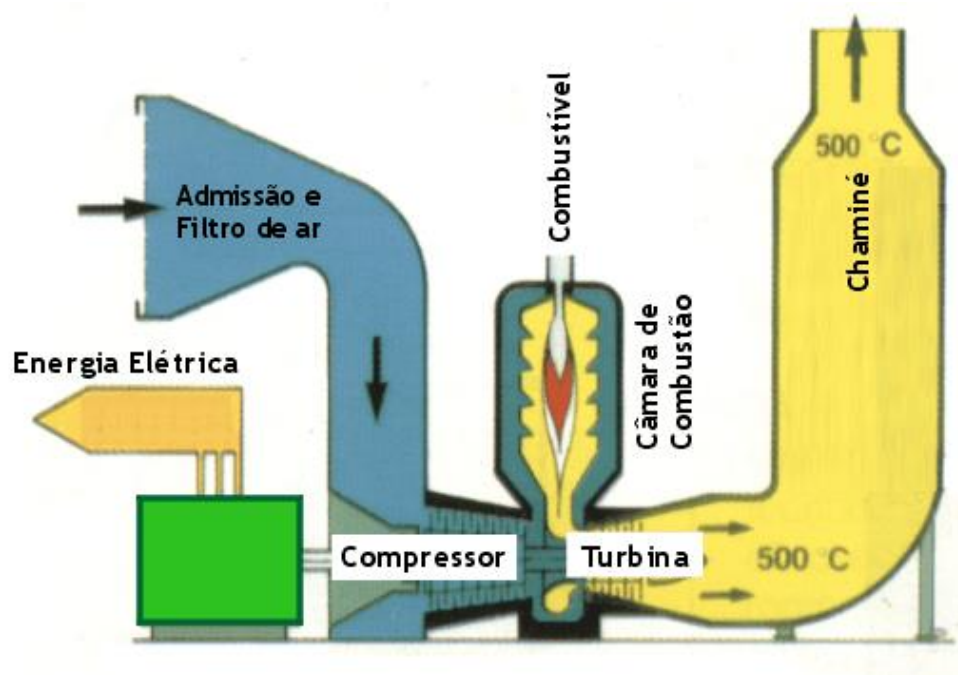


Figura 3 - Principais Componentes de uma Turbina a Gás.

FONTE: www.semanario.tp/jornal53/informacao.htm

Saindo da câmara de combustão, os gases têm temperatura de até 1250°C. Após passar pela turbina, os gases são liberados ainda com significativa disponibilidade energética, tipicamente a temperaturas entre 500 e 650°C. Considerando isso, as termelétricas mais eficientes e de maior porte aproveitam este potencial através de um segundo ciclo termodinâmico, um ciclo a vapor (ou Ciclo Rankine). Estes ciclos juntos formam um ciclo combinado, de eficiência térmica freqüentemente superior a 60%, ciclos simples a gás têm tipicamente 35% [2].

Turbinas projetadas para operar em ciclo simples, tendo em vista a eficiência térmica do ciclo, têm temperatura de saída de gases reduzida ao máximo e têm otimizada taxa de compressão. A taxa de compressão é a relação entre a pressão do ar na entrada da turbina e na saída do compressor.

Turbinas a gás específicas para operar em ciclo combinado são desenvolvidas de modo a maximizar a eficiência térmica do ciclo como um todo. Desta forma, a redução da temperatura dos gases de escape não é necessariamente o ponto mais crítico, em termos de eficiência, uma vez que os gases de saída da turbina ainda são utilizados para gerar potência.

2.4 Conclusão

Neste Capítulo foi apresentado de forma resumida o ciclo termodinâmico de uma Turbina a Gás, utilizada em um Turbogenerador. Além disso, foram apresentadas as etapas do processo de geração de energia mecânica realizado pela Turbina, onde essa energia é transformada em energia elétrica por um Gerador Síncrono.

Os equipamentos que compõem um Turbogenerador serão apresentados no próximo capítulo, assim como suas características construtivas e funcionalidades.

3 SISTEMAS QUE COMPÕEM UM TURBOGERADOR

3.1 Introdução

Um Turbogenerador pode ser dividido em dois sistemas essenciais, o Sistema do Gerador e o Sistema da Turbina a gás. Estes, por sua vez, são compostos de vários subsistemas que devem ser perfeitamente verificados e aprovados separadamente, e depois em conjunto, para realizarem de forma eficiente o trabalho proposto.

Serão apresentadas a seguir características dos sistemas e subsistemas que compõem um Turbogenerador.

3.2 Gerador

Um Turbogenerador utiliza um gerador síncrono para transformar a energia mecânica gerada na turbina a gás em energia elétrica [3]. O Sistema do Gerador é composto essencialmente por:

- Máquina principal (estator e rotor);
- Excitatriz principal;
- Excitação auxiliar;
- Enrolamento amortecedor;
- Trocador de calor;
- Mancais.

A Figura 4 mostra as partes integrantes do Gerador Síncrono Brushless.

3.2.1 Máquina Principal

3.2.1.1 Estator Principal

O estator do gerador síncrono é composto de chapas laminadas dotadas de ranhuras axiais onde é alojado o enrolamento do estator. É construído a partir de chapas para diminuir as perdas provocadas por correntes parasitas (correntes de Foucault), as quais estariam presentes em maior grau, caso fosse empregado uma

construção maciça. As chapas são geralmente tratadas termicamente a fim de reduzir o valor das perdas específicas por correntes induzidas. Não existe, em geral, uma isolamento física entre as chapas que compõem o rotor e o estator. Como são enrolamentos de alta tensão os condutores são de seção retangular e as bobinas recebem uma camada extra de isolamento (isolamento classe F - 155°C) com material a base de mica, sendo que as ranhuras são do tipo aberta.

O estator é equipado com sensores no núcleo de laminação do enrolamento e é projetado baseado nas características técnicas, elétricas e térmicas exigidas pelo cliente. Além disso, avaliação de distúrbios harmônicos, ruídos magnéticos e vibração do núcleo de laminação também fazem parte do projeto.

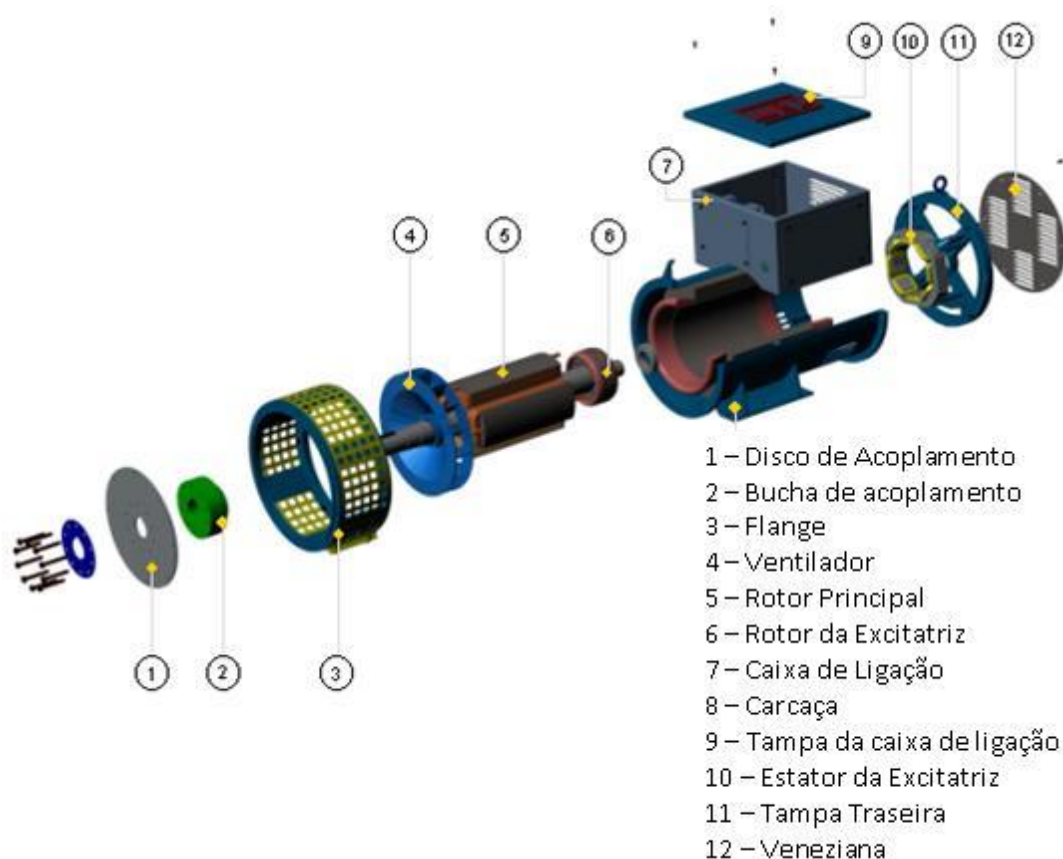


Figura 4-Partes integrantes de Gerador Síncrono Brushless

FONTE: <http://weg.net/files/products/WEG-turbogerador-manual-portugues-br.pdf>

3.2.1.2 Rotor Principal

O rotor é também formado de chapas laminadas justapostas feitas de aço. O enrolamento de campo (rotor) é distribuído em ranhuras. Além do enrolamento de campo o rotor contém um enrolamento em gaiola que serve para absorver operações anormais. O rotor é construído com pólos lisos e é projetado para atender às exigências mecânicas solicitadas pelo cliente, tendo um bom desempenho e resistência mecânica.

É alimentado com corrente contínua que é fornecida por meio de uma excitatriz montada no eixo da máquina.

3.2.2 Excitatriz Principal

A excitatriz é localizada na parte traseira do gerador e tem a função de gerar uma tensão contínua para alimentar o enrolamento de campo (enrolamento do rotor) do gerador.

Consiste de uma carcaça do estator estacionária com um enrolamento de campo de pólos salientes montados em uma base, uma armadura rotativa com um enrolamento trifásico AC e um conversor rotativo AC/DC.

O converso rotativo AC/DC é um retificador composto por seis diodos e um conjunto de varistores de proteção contra sobretensão inversa nos diodos. Ele tem a função de alimentar o enrolamento de campo com corrente contínua.

3.2.2.1 Estator da Excitatriz Principal

O estator consiste de bobinas de campo suportadas em peças de pólos sólidas com blocos de feltro maleável e impregnado à vácuo com resina epóxi. As bobinas são ventiladas ao longo da extremidade para proporcionar uma ampla passagem de ar quando estiver a elevada temperatura. A carcaça do estator é encapsulada por uma cobertura apropriada para proporcionar a blindagem e defletores de ar para uma correta ventilação.

A função do Estator da Excitatriz Principal é fornecer o fluxo ao rotor da excitatriz. É alimentado com corrente contínua, que é controlada pela tensão de

acordo com a exigência da carga, com a finalidade de manter a tensão terminal da excitatriz principal constante.

3.2.2.2 Rotor da Excitatriz Principal

Consiste de um núcleo laminado suportado por uma armação com um enrolamento trifásico conectado em estrela e um retificador a diodos conectado às suas fases.

O núcleo laminado é feito de lâminas de aço magnético. O enrolamento da armadura consiste de bobinas impregnadas à vácuo com resina epóxi. As bobinas são suficientemente ajustadas às laterais das ranhuras e as pontas são amarradas com uma cinta maleável, para suportar as força centrífugas durante a operação normal.

3.2.3 Excitatriz Auxiliar

É um gerador trifásico com rotor constituído por ímãs, que são seus pólos de excitação, acoplado ao eixo da máquina principal. Fica localizada na parte trazeira do gerador e tem a função de gerar tensão alternada para alimentar o circuito do regulador de tensão. O estator é composto por chapas de aço laminadas e é trifásico. O rotor é composto por pólos de ímã permanente instalado no interior do núcleo laminado.

3.2.4 Enrolamento Amortecedor

O enrolamento amortecedor é composto de barras que formam uma gaiola de esquilo no rotor do gerador e tem as seguintes funções:

- Amortecimento das oscilações de conjugado-mecânico do rotor que poderiam provocar quebras de sincronismo e causat a saída da máquina.
- Redução de sobretensões momentâneas, tornando a máquina mais estável contra variações bruscas de tensão no barramento infinito.
- Absorção de corrente de sequência zero e negativa, causada por cargas desequilibradas;
- Absorção de distorções harmônicas;
- Aumentam o curto-circuito brusco nos terminais da máquina;

- Auxílio na sincronização quando ocorre alguma falha na máquina ou no sistema ao qual está ligada.

3.2.5 Trocador de Calor

Instalado na parte superior do gerador, o trocador de calor é composto por dois radiadores a água responsáveis por refrigerar o gerador.

3.2.6 Mancais

Os mancais frontais e trazeiros são lubrificados com óleo. Tem a função de suportar a peso do rotor e permitir que o mesmo gire. Devem possuir previsão para instalação de dispositivo para içamento hidráulico a óleo do eixo.

3.3 Sistema da Turbina a Gás

O Sistema da Turbina a gás inclui um Gerador de gás (GG – Gas Generator), uma Turbina de Potência (PT – Power Turbine) e vários subsistemas de apoio. Os equipamentos e subsistemas de apoio são controlados pelo Painel de Controle da Turbina (TGCP – Turbine Control Painel). As turbinas operam no ciclo Brayton, no qual a adição de calor ocorre a pressão constante como já foi visto na Figura 2.a.

Os sistemas principais e auxiliares que juntos formam o Sistema da Turbina a gás são os seguintes [4]:

- Gerador de gás
 - Compressor de Ar
 - Câmara de Combustão
 - Turbina de Alta Pressão
- Turbina Livre ou Turbina de Potência
- Sistemas Auxiliares
 - Sistema de Óleo Lubrificante
 - Sistema de Partida
 - Sistema de Ar de Admissão
 - Sistema de Caixa Acústica (Hood)

- Sistema de Ventilação e Combate a Incêndio
- Sistema de Controle de combustível
- Sistema de Controle de Fluxo de Ar

3.3.1 Gerador de gás (GG)

O Gerador de Gás é um carretel com dois rotores com alta relação de pressão. Gases de escape do Gerador de Gás são usados na Turbina. O ar trazido dos compressores do Gerador de Gás serve para várias funções inclusive refrigerar e selar o aro da turbina.

O Gerador de Gás tem um compressor IP (pressão intermediária) de sete estágios, um compressor HP (alta pressão) de seis estágios, uma turbina HP de único estágio e uma turbina IP de único estágio. Os eixos da IP e HP são mecanicamente independentes, cada um opera em sua velocidade ótima.

Fluxos de ar atravessam o Gerador de Gás do compressor IP para o compressor HP. Um pouco de gás é canalizado para fora do Gerador de gás para refrigerar componentes a alta temperatura do próprio Gerador de gás. O restante do ar flui para dentro da Câmara de Combustão, onde o combustível é injetado virando um mistura inflamável. Gases de escape quentes e com alta energia saem para a turbina HP. As turbinas HP e IP convertem a energia do gás em potência no eixo.

Existe um motor de arranque hidráulico montado para o Gerador de Gás sob o invólucro intermediário. Ele aciona o Gerador de Gás para uma auto-sustentação da velocidade quando ocorre desligamento.

3.3.1.1 Compressor de Ar

O compressor de ar, mostrado na Figura 4, é o componente da turbina responsável pelo aumento da pressão do ar no ciclo de Brayton e é acionado pela turbina do gerador de gás.

O compressor axial normalmente é utilizado nas turbinas a gás, e trabalha com relações de compressão por estágios baixos o que resulta em um número grande de

estágios para que atinja relações de compressão elevadas, de até 21/1, empregadas em algumas máquinas modernas.

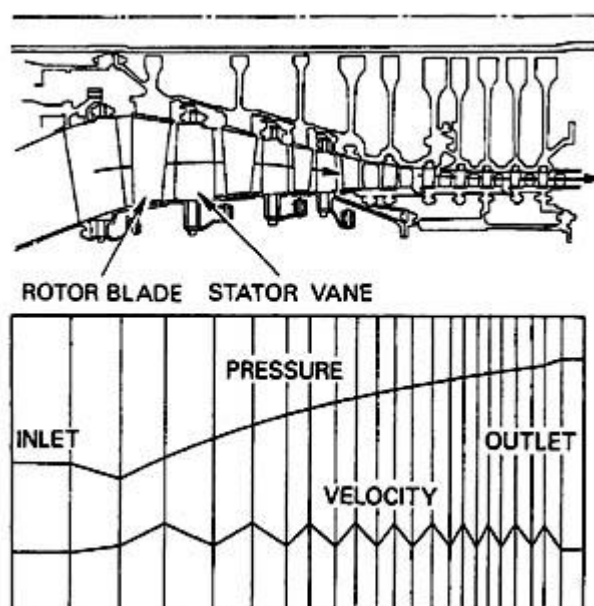


Figura 5- Compressor de Ar

FONTE: <http://ocw.mit.edu/ans7870/16/16.unified/propulsionS04/UnifiedPropulsion9/UnifiedPropulsion9.htm>

O compressor axial permite obter altas vazões de ar e boa eficiência com valores típicos entre 85 a 90 %, sendo por isso empregado em praticamente todas as turbinas a gás de médio e grande porte. Um inconveniente do compressor axial é a de apresentar faixa operacional pequena, entre os limites de surge e choke, o que exige cuidados especiais para evitar o surge durante os períodos de partida e/ou aceleração.

O princípio de funcionamento do compressor axial é acelerar o ar e transformar essa aceleração em pressão. Este processo é repetido nos estágios subsequentes do compressor, sendo que cada estágio promove um pequeno aumento de pressão.

O compressor é projetado para operar com alta eficiência em altas rotações. Para manter o fluxo de ar estabilizado à baixa rotação tem-se instalado, na entrada de ar, um conjunto de palhetas móveis (*IGV - Inlet Guide Vanes*) que, automaticamente, altera o ângulo de ataque das palhetas para o primeiro rotor, aumentando gradualmente a eficiência de acordo com o aumento da rotação. As válvulas de sangria (*Bleed*

Valves) estão instaladas para prevenir o surge em baixas rotações. O conjunto IGV e válvulas de sangria fazem parte do sistema de controle do fluxo de ar da turbina.

3.3.1.2 Câmara de Combustão

A combustão em uma turbina a gás é mais uma das etapas do ciclo Brayton e é um processo contínuo realizado a pressão constante. Um suprimento contínuo de combustível e ar é misturado e queimado à medida que escoam através da zona de chama. A chama contínua não toca as paredes da câmara de combustão, sendo estabilizada e modelada pela distribuição do fluxo de ar admitido, que também resfria toda a câmara de combustão. Podem ser queimadas misturas com largas faixas de relação combustível - ar, pois ela é mantida normal na região da chama, sendo o excesso de ar injetado a jusante da chama. O volume da câmara de combustão é muito pequeno em relação à taxa de liberação de calor desenvolvida, porque a combustão é feita a pressão elevada.

O combustor anular é o mais empregado em turbinas aeronáuticas modernas, pois são particularmente adequados para aplicações a altas temperaturas ou com gases de baixo poder calorífico, porque exigem menos ar de resfriamento, devido à menor área superficial da câmara.

3.3.1.3 Turbina de Alta Pressão

A Turbina de Alta Pressão é responsável por transformar a energia contida em um fluxo de gás a alta pressão e temperatura em trabalho no eixo, para acionar o compressor e parte dos serviços auxiliares.

As Turbinas de Alta Pressão empregadas em turbinas a gás são na grande maioria do tipo axiais por apresentarem maior eficiência, variando entre 75 e 90 %.

A turbina pode ser equipada por vários estágios de palhetas estatoras e rotoras dependendo da aplicação, lembrando que as palhetas estatoras são fixadas à carcaça da turbina e as rotoras às rodas, que por conseguinte são fixadas ao eixo.

3.3.2 Turbina Livre ou Turbina de Potência

A turbina de potência, mostrada na Figura 5, é projetada e fabricada pelo chamado fornecedor do pacote. Ele é responsável pelo fornecimento, montagem e testes do conjunto completo, que incluem, além do gerador de gás e da turbina de potência, todos os acessórios e sistemas auxiliares. O fornecedor normalmente entrega ao comprador o pacote totalmente montado e testado em sua fábrica. São características importantes das turbinas derivadas de aviação: facilidade de instalação e comissionamento, boa adaptabilidade a controle remoto, planejadas para a manutenção em oficina.

A turbina de potência recebe os gases provenientes da turbina HP e é responsável por acionar o gerador elétrico através de uma caixa multiplicadora.



Figura 6-Turbina de Potência

FONTE: <http://www.glmcorp.com/images/Genr-PT-rotor.jpg>

3.3.3 Sistemas Auxiliares

Os sistemas auxiliares são os sistemas necessários para o bom funcionamento de todo o conjunto de todos os equipamentos que compõem a Turbina a gás.

3.3.3.1 Sistema de Óleo Lubrificante

Este sistema tem a função de fornecer óleo na pressão e temperatura adequada, permitindo a lubrificação dos mancais, das engrenagens da caixa de acessórios, da caixa multiplicadora e do resfriamento dos mancais quando quentes, e a fase de pós-lubrificação após a parada da máquina.

O controle da pressão e temperatura do óleo, dentro da faixa operacional admissível para a máquina, é importante para a integridade dos mancais, evitando intervenções precoces. Tanto a alta como a baixa temperatura alteram a viscosidade e conseqüentemente prejudicam a lubrificação e retirada do calor dos mancais.

Esse sistema é composto por reservatório de óleo, bomba principal, auxiliar e de emergência, bem como permutadores e filtros.

3.3.3.2 Sistema de Partida

O sistema de partida tem duas funções. A primeira é retirar o Gerador de Gás (GG) da inércia e acelerar até uma determinada rotação, e o mantém nessa rotação durante a fase conhecida como fase de purga, permitindo a limpeza interna da turbina com o ar limpo. A segunda função acontece durante a fase de partida, logo após a fase de purga, que é de auxiliar na aceleração do Gerador de Gás durante a ignição e início da formação dos gases de exaustão, até a velocidade de marcha lenta ou rotação de sustentação. Após atingir esta velocidade o sistema de partida é desligado.

O Sistema de Partida pode ser instalado nas seguintes configurações:

- Motor elétrico + conversor de torque;
- Motor elétrico + bomba hidráulica + motor hidráulico (mais comum em instalações offshore);
- Motor elétrico acionado por variador de frequência;
- Motor pneumático.

3.3.3.3 Sistema de Ar de Admissão

Esse sistema tem a função de fornecer ar, com os requisitos de pureza e umidade controlados, para o compressor de ar, bem como manter os níveis de ruído dentro de valores aceitáveis. Esse sistema é composto por uma série de filtros, dutos de admissão e escape e também silenciadores para abafar o som produzido nesse sistema.

3.3.3.4 Caixa Acústica (*Hood*)

As principais funções da caixa acústica é a proteção acústica, diminuindo o ruído até níveis aceitáveis; isolar a turbina; e aumentar a segurança individual dado que a caixa pode conter alguma eventual explosão da turbina não permitindo que algumas peças sejam arremessadas contra as pessoas. A caixa, também, tem como função a proteção térmica e o aumento da eficiência no combate a incêndio.

3.3.3.5 Sistema de Ventilação e Combate a Incêndio

A função desse sistema é retirar o calor, dissipado pelo processo de combustão na câmara do Gerador de Gás, mantendo a temperatura dentro dos limites aceitáveis, evitando danos aos equipamentos (eletrônicos ou não) instalados no interior da Caixa Acústica.

O sistema de ventilação é normalmente composto por um ventilador principal e outro auxiliar, sendo que normalmente apenas um deles se encontra em operação. Com isso, é forçada a circulação de ar no interior da Caixa Acústica mantendo a temperatura controlada devido à dissipação de calor.

Integrado ao sistema de ar de ventilação temos o sistema de detecção de fogo e gás. É formado, principalmente, por sensores que detectam a presença de fogo ou gás. Quando esses sensores são acionados, normalmente, são utilizados cilindros de CO₂.

3.3.3.6 Sistema de Controle de Combustível

A função desse sistema é fornecer o combustível gasoso (gás natural) ou líquido (diesel) dentro da pressão e temperatura, vazão e características necessárias para o atendimento aos diversos regimes operacionais da turbina.

Quando há dois sistemas de combustível, a transferência de combustível é feita automaticamente com a turbina em operação e sem variação de velocidade. Conforme a demanda de carga do gerador varia, a injeção de combustível comandada pelo controle de combustível deve responder no tempo adequado para evitar a variação de rotação da máquina.

Esse sistema é composto principalmente pelas válvulas dosadoras de gás ou diesel, bomba de suprimento de diesel, filtros e válvulas de bloqueio de combustível.

3.3.3.7 Sistema de Controle de Fluxo de Ar

A função do sistema de controle de fluxo do ar é ajustar a vazão do compressor de ar do gerador de gás. Assim, ele mantém a curva de desempenho na máxima eficiência de acordo com a condição operacional exigida pelo processo e evita os fenômenos aerodinâmicos, tais como stall e surge. Outra função do sistema é a selagem dos mancais e resfriamento das palhetas das turbinas.

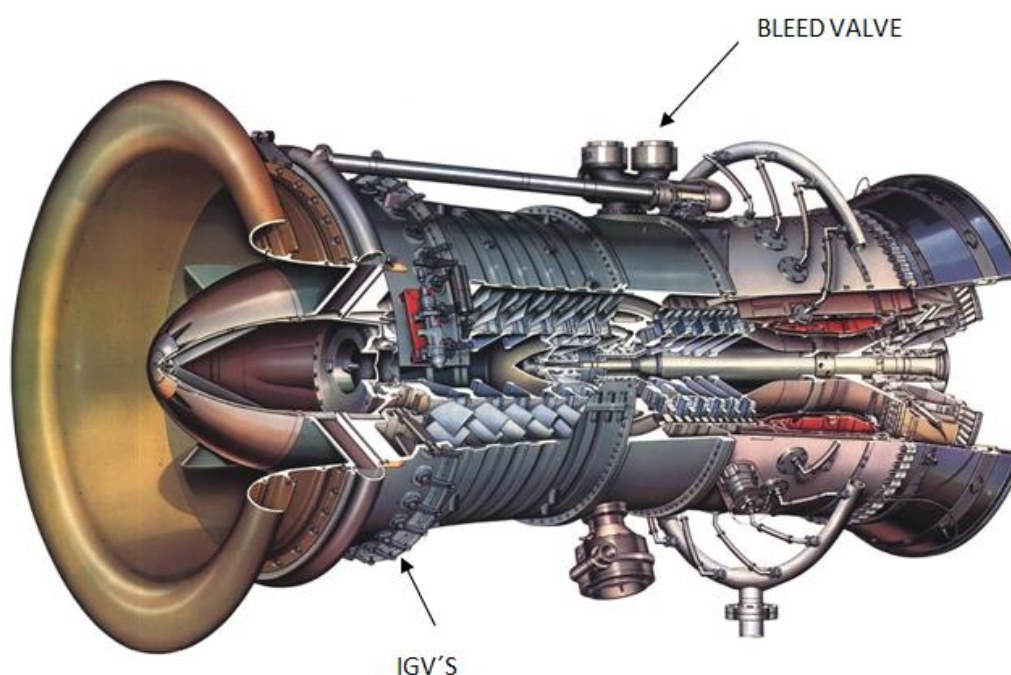


Figura 7-Controle de Fluxo de Ar destacando as IGV's e Bleed Valve.

FONTE: http://www.tcturbines.com/data/1/rec_imgs/61_Rolls-Royce%20RB211.JPG

O controle do fluxo de ar é realizado pelas IGV's e bleed valves que são mostrados na Figura 6. As IGV's controlam a inclinação das palhetas estatoras de alguns estágios do compressor de ar. Durante a partida, as palhetas se encontram quase que na totalidade fechadas e durante a aceleração se abrem gradualmente tentando manter a máquina sob condição de maior eficiência.

As bleed valves são responsáveis por evitar a ocorrência de fenômenos como surge. De acordo com a rotação da máquina as bleed valves controlam o direcionamento do fluxo de ar para a exaustão da máquina.

3.4 Conclusão

Neste Capítulo foi apresentado os sistemas que compõem um Turbogenerador, que foi dividido em Sistemas de um Gerador e Sistemas da Turbina a Gás. Em cada Sistema foi explicado a sua funcionalidade, as partes integrantes e as características construtivas.

No próximo Capítulo será apresentado as atividades de Pré-Comissionamento que devem ser realizadas antes dos testes que integram as atividades de Comissionamento.

4 ATIVIDADES DE PRÉ-COMISSIONAMENTO

4.1 Introdução

As atividades que são ditas de Pré-Comissionamento são todos os procedimentos e verificações que devem ser realizados para assegurar que todos os testes na etapa de Comissionamento sejam realizados sem interferências e com segurança. Esses procedimentos serão apresentados em tópicos, pois são tópicos de verificação.

As Atividades de Pré-Comissionamento são todas realizadas após o correto recebimento e instalação dos equipamentos de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante [3].

Para um Turbogenerador as atividades de Pré-comissionamento podem ser divididas de acordo com o sistema a que pertence o equipamento. A divisão dos sistemas foi a seguinte:

- Sistema Elétrico;
- Sistema de Instrumentação;
- Sistema de Tubulação;
- Sistema Mecânico.

Em todos os sistemas as folhas de verificações devem ser assinadas e disponibilizadas para consulta. O tipo e a quantidade de lubrificante que devem ser utilizados em cada equipamento são recomendados pelo fabricante do equipamento.

4.2 Sistema Elétrico

Os procedimentos e atividades de Pré-comissionamento relacionadas com a parte elétrica de um Turbogenerador são resumidas em [3]:

- a) Verificação da conexão de cabos, seu endereçamento, identificação e fixação:

- Os conectores de fornecimento de energia devem estar devidamente conectados para evitar curto-circuito ou mantê-los desconectados, se verificada sua necessidade.
 - As conexões de aterramento e internas (TP's, TC's, sensor de temperatura) do gerador, as conexões dos tap's do transformador e do seu resistor de aterramento devem ser verificadas.
 - A conexão do regulador de tensão deve estar de acordo com o manual de instalação.
 - Os cabos do banco de cargas devem ser retirados, testados, reconectados e corretamente apertados.
 - Deve ser feita uma inspeção em todos os cabos com relação às suas devidas identificações, endereçamentos e fixações. Essa inspeção inclui os painéis energizados ou não, seus barramentos e os cabos de interconexão.
- b) Verificação de isolamento:
- A resistência de isolamento do enrolamento do gerador deve ser medida para assegurar que está dentro dos valores previstos (Valores de Registro de Absorção e Índice de polarização).
 - Todos os painéis, disjuntores e cabos de interconexão devem ser verificados quanto ao isolamento.
- c) Verificação de aterramento:
- Toda a instalação deve ser verificada quanto à instalação e preservação do aterramento.
- d) Verificação da limpeza:
- O gerador, sua excitatriz e a área circundante devem estar devidamente limpas.
- e) Verificação de danos mecânicos:
- Todos os equipamentos devem ser inspecionados quanto à danos mecânicos.

f) Verificação de testes:

- As lâminas dos comutadores devem ser examinadas para um perfeito deslizamento para segurança no armamento dos disjuntores.
- Todos os Centros de Controle de Motores, Paineis de Distribuição de Força, Banco de Cargas devem ser verificados e testados.
- Os equipamentos de proteção devem ser parametrizados e testados.

g) Verificação de disponibilidade de documentação:

- Todos os manuais, data sheet, desenhos e informações técnicas, também devem estar disponíveis antes de iniciar qualquer teste.

4.3 Sistema de Instrumentação

Os procedimentos e atividades de Pré-comissionamento relacionadas com a parte de instrumentação de um Turbogenerador são:

- Todos os instrumentos devem estar corretamente instalados (posição e fixação) e aferidos;
- O detector de gás e incêndio, o sistema de proteção e o sistema de controle devem ter sido testados pelo fornecedor e prontos para operação;
- Toda matriz de causa e efeito, quando aplicável, deve ter sido executada.

4.4 Sistema de Tubulação

Os procedimentos e atividades de Pré-comissionamento relacionadas com a parte de tubulação de um Turbogenerador são:

- A tubulação deve estar ajustada e fixada corretamente;
- Os testes hidráulicos/pneumáticos, quando aplicáveis, devem ter sido executados;
- Os testes NR-13, onde aplicáveis, devem ter sido realizados e os certificados disponíveis para consulta;

- O teste de Estanqueidade deve ter sido executado de acordo com os procedimentos definidos na especificação técnica;
- A limpeza deve ser executada de acordo com o Sistema/Subsistema de Limpeza a ar dos Procedimentos de Teste de Estanqueidade conforme especificação técnica;
- As válvulas devem estar corretamente posicionadas e seu controle verificado;
- O isolamento térmico, onde aplicável, deve ser verificado.

4.5 Sistema Mecânico

Os procedimentos e atividades de Pré-comissionamento relacionadas com a parte de mecânica de um Turbogenerador são:

- A correta instalação de todos os Sistemas auxiliares da Turbina a gás (Sistema de Geração de Gás, de Ventilação, de Óleo Lubrificante, de Óleo Mineral, Hidráulico de Controle de Óleo, de Abastecimento Duplo e o de Lavagem do Compressor), inclusive a própria Turbina devem ser garantida pelo fornecedor de cada equipamento e devem estar prontos para operação;
- Os tanques de diesel, óleo, óleo sintético e de esterilização de óleo mineral devem estar ter sido inspecionados e estarem prontos para operação.
- Deve existir óleo diesel suficiente para os testes serem realizados.

4.6 Conclusão

Neste Capítulo foram apresentadas as atividades e verificações que devem ser realizadas para assegurar que todos os equipamentos e sistemas que fazem parte do Turbogenerador ou auxiliam no seu funcionamento estejam preparados para serem testados separadamente e em conjunto quando for realizado o teste completo dos sistemas.

No próximo Capítulo serão apresentados todos os testes que devem ser realizados antes da entrada em operação para que o Turbogenerador tenha o desempenho e vida útil esperados.

5 ATIVIDADES DE COMISSONAMENTO

5.1 Introdução

Os testes e verificações que serão abordados a seguir são para assegurar que o sistema esteja seguro para entrar em operação e preparado de acordo com seu propósito. As exigências da NR-10 devem estar em conformidade com a execução das atividades, assim como é obrigatório a utilização de EPI's básicos como capacete, sapatos de segurança, luvas e protetores auditivos. O comissionamento é realizado na fase final do projeto e, neste caso, há necessidade de gás e combustível para realização dos procedimentos. Como esse equipamento é, também, utilizado em grandes plataformas projetadas para operar no mar, é necessária a realização dos testes por partes em terra, pois a falha em um dos sistemas causaria um grande prejuízo e um impacto profundo no tempo de entrada em operação da planta, caso esta já estivesse montada e preparada no mar.

5.2 Inspeção Funcional

Inspeção Funcional é um conjunto de atividades visando garantir a funcionabilidade dos equipamentos e itens da planta de processo [5] e podem ser resumidos em:

- Aferição todos os instrumentos;
- Teste dos equipamentos elétricos e mecânicos;
- Testes de malhas, que são todos os testes a frio (testes feitos somente com a tensão de controle) dos equipamentos e instrumentos.

5.3 Start-up

O Start-up é um conjunto de operações para colocar em operação os equipamentos de sistema e/ou um subsistema de uma planta de produção [5]. São resumidos como:

- Assegurar que a existência de trabalho na área não interferirá nos testes a serem realizados;

- Assegurar que a área ao redor do Turbogenerador esteja isolada;
- Assegurar que as pessoas envolvidas tenham informações a respeito dos riscos dos testes serem realizados;
- Verificar se o nível do sistema de óleo lubrificante mineral está preenchido e pronto para operação;
- Verificar se o nível do sistema de óleo lubrificante está preenchido e pronto para operação;
- Verificar se a água de refrigeração do gerador está preenchida e pronta para operação;
- Verificar se o instrumento de ar comprimido está disponível;
- Verificar se o óleo diesel está na temperatura correta para o sistema;
- Verificar se os retificadores e UPS (Uninterruptible Power supply – suprimento de energia ininterrupta) estão funcionando e prontos para operação;
- Verificar com um representante do fornecedor se o turbogenerador está pronto para ser iniciado;
- Verificar se todos os MCC's (Motor Control Center – centro de controle dos motores) estão energizados e prontos para operação;
- Verificar se o Sistema de Detecção de gás e incêndio e de Proteção estão energizados e prontos para operação;
- Verificar se o Sistema de Controle Integrado está funcionando e pronto para a turbina ser acionada;
- Verificar se o painel de sincronismo e divisão de cargas está funcionando e pronto para operação;
- Verificar se o Banco de Carga está conectado no barramento e pronto para funcionamento;
- Assegurar que todos os manuais, data sheet, desenhos e informações técnicas estão disponíveis antes de começar o teste.

5.4 Teste Funcional

Os testes funcionais têm como objetivo verificar todos os parâmetros das máquinas de uma maneira geral, como os valores de temperaturas nos pontos pré-determinados pelo fabricante (sucção de ar, descarga), valores de vibração, carga e pressão para que cada equipamento seja devidamente certificado para entrada em operação, em resumo seria o desempenho do sistema [5].

Os testes funcionais englobam o teste de proteção elétrica, acionamento e parada nos modos manuais e automáticos, teste de carga, teste de sincronização, teste de operação em paralelo, teste de aceitação e descarte da carga, teste de potência reversa e testes a plena carga.

Após a execução do teste de carga, em cada máquina especificamente, o teste de sincronismo manual entre duas máquinas é realizado, assim, pode-se estimar a divisão de carga que poderá ser realizada entre as máquinas.

Durante a execução dos testes de redução de carga e incremento de carga é necessário que se observe o comportamento do controle de velocidade e atuação do sistema elétrico, bem como, a parametrização das funções de sobre-frequência e sub-frequência, tensão, corrente e velocidade de resposta com atrasos de ação.

Deve-se evitar que se utilizem partes do sistema que ainda não estão devidamente comissionados evitando a passagem de fluidos, como por exemplo, com a técnica do raqueteamento, que consiste em um fechamento mecânico das válvulas com o uso de raquetes. Deve-se também isolar os sistemas elétricos que não fazem parte do teste.

Abaixo seguem as características dos principais testes. Todos esses testes devem ser realizados em todos os Turbogeneradores [8].

5.4.1 Teste de Proteção Elétrica

A proteção elétrica de um gerador que opera em paralelo em plataforma de produção de petróleo é bastante complexa e formada por diversos tipos de proteção, é fundamental que na fase de comissionamento algumas dessas proteções sejam testadas [6].

- Proteção de Reversão de Potência (Tabela ANSI - 32): colocar dois geradores em paralelo e dividindo uma carga, retirar a carga de um deles gradativamente até que o mesmo comece a motorizar. Verificar se a proteção elétrica do gerador atua no valor definido no estudo de proteção. Repetir o procedimento para as demais máquinas.
- Proteção de subfrequência (Tabela ANSI - 81U): com um gerador operando isolado, diminuir a rotação gradativamente até que a proteção atue, comparar com os valores definidos nos estudos de proteção. Repetir o procedimento para as demais máquinas.
- Proteção de sobrefrequência (Tabela ANSI - 81O): com um gerador operando isolado, aumentar a rotação gradativamente até que a proteção atue, comparar com os valores definidos nos estudos de proteção. Repetir o procedimento para as demais máquinas.
- Proteção de subtensão (Tabela ANSI - 27): com o gerador operando isolado, colocar o AVR em manual e reduzir a tensão do gerador até que a proteção elétrica atue e comparar com os valores dos estudos de proteção.
- Proteção de sobretensão (Tabela ANSI - 59): com o gerador operando isolado, colocar o AVR em manual e aumentar a tensão do gerador até que a proteção elétrica atue e comparar com os valores dos estudos de proteção.

Demais proteções: para as demais proteções como, por exemplo, diferencial de fase (Tabela ANSI - 87), sobrecorrente com restrição de tensão (51V), perda de excitação (Tabela ANSI - 40), dentre outras, devem ser testadas com injeção de corrente nos TC's através de maleta apropriada para essas atividades.

5.4.2 Testes de Carga

Antes de iniciar a produção da unidade offshore, é necessário um mínimo de confiabilidade do sistema de geração principal. Dessa forma é recomendado a

realização de testes de carga nos TG's. Esses testes podem ser de aceitação/rejeição de carga e testes de plena carga [7].

- Testes de plena carga (full load): o teste consiste em colocar o gerador isolado e aumentar gradativamente a carga do mesmo até a limitação da turbina. Nesse caso a máquina deve operar por um período definido na especificação do equipamento.
- Testes de aceitação de carga: na especificação técnica do sistema de geração devem ser definidos quais os valores de degrau de carga a serem realizados nos testes. É comum realizar degraus de 0-25%, 25-50% e 50-90%, entretanto outros valores podem ser utilizados. Para realização do teste deve-se colocar dois geradores em paralelo dividindo carga, abrir o disjuntor de um deles fazendo com que o outro assuma a carga definida no teste. Caso alguma proteção atue ou o tempo de recuperação de frequência esteja fora do estipulado, o teste não terá validade.
- Teste de rejeição de carga: Assim como o teste anterior, os valores de rejeição de carga estão definidos na especificação técnica do equipamento, entretanto é comum que o TG possa suportar uma rejeição de 100-0%. Para realizar o teste deve-se colocar o gerador com 100% de carga e abrir o disjuntor do banco(s) de carga, a proteção de sobrefrequência não deve atuar, caso atue o teste não terá validade.

5.4.3 Teste de Sincronização de Divisão de Carga

No caso de unidades atuais de produção offshore, é comum que existam a operação em paralelo de geradores. Nesses casos é necessário um sistema de gerenciamento de energia na geração principal, sistema esse responsável pela sincronização e divisão de carga entre os TG's [7].

- Teste de sincronização em barra morta: o teste consiste em realizar o fechamento do disjuntor do gerador e também os de interligação de barramento com um dos barramentos desenergizado (morto). Para realização do teste deve-

se excitar o gerador e realizar o fechamento do disjuntor do mesmo com o barramento a jusante desenergizado. Repetir o procedimento para os disjuntores de interligação de barramento.

- Teste de sincronização automático com barramento energizado: esse teste consiste em fechar o disjuntor do gerador quando outro já está operando, o sistema de sincronização deverá acelera/desacelerar a turbina, bem como comandar o AVR para que os requisitos definidos no relé de sincronização (Tabela ANSI - 25) sejam atendidos, isso desse ser feito automaticamente.

Teste de divisão de carga: a divisão de carga é fundamental para geradores operando em paralelo, nesse caso o sistema deve garantir que as variações de carga na unidade mantenham os valores de tensão e frequência constantes, bem como manter a divisão de potência ativa e reativa entre os TG's. o teste consiste em colocar dois ou mais geradores em paralelo em modo de divisão de carga e variar o valor de potência dos bancos de carga, deve-se observar se a divisão de potência ativa e reativa se mantêm equilibrado, bem como se não ocorrem variações nos valores de frequência e tensão em regime [8].

5.4.4 Teste de Descarte de Carga

Todo sistema isolado onde se operam TG's em paralelo necessita de um sistema de descarte de cargas, sem o qual não é possível continuidade operacional aceitável. Esse tipo de sistema tem a finalidade de descartar cargas a partir da configuração do sistema e a potência demandada pela unidade de forma a evitar a subfrequência dos geradores caso os mesmos não consigam suprir toda a demanda. É comum em sistemas mais modernos que existam mais de um tipo de modo de descarte de carga e também que a ordem de prioridade das cargas possa ser alterada de acordo com a necessidade. A realização de testes de todos esses modos é fundamental antes da unidade de produção offshore entrar em operação [7].

- Teste de descarte de carga por subpotência instantânea: quando a potência disponível pelos TG's em operação for menor que a potência demandada é

necessário descartar um montante de carga de forma a equilibrar o balanço de potência. Esse teste consiste em colocar dois TG's em operação em paralelo ambos com mais de 50% da carga máxima de cada um deles, nesse caso deve-se abrir o disjuntor de um dos geradores e verificar se ocorre o descarte das cargas necessário para manter a continuidade operacional do sistema.

- Teste de descarte de carga por subpotência gradual: neste caso o descarte ocorre quando a potência disponível está um pouco acima da demandada, neste caso ocorre um descarte mínimo de carga para deixar o sistema com uma margem maior de operação, esta margem depende de avaliação prévia do sistema elétrico. O teste consiste em colocar dois ou mais TG's em paralelo e aumentar a carga dos mesmos de forma e entrar nesta margem previamente estabelecida e verificar se o descarte ocorre da forma esperada.
- Teste de descarte de carga por subfrequência instantânea: esse modo de descarte tem a função de evitar que a proteção elétrica de subfrequência atue em caso de queda de um TG quando opera em paralelo com os demais. Neste modo de descarte deve-se definir um montante de carga a ser descartada e a frequência de descarte (um pouco acima da proteção de subfrequência), quando de sua atuação, este montante e a frequência também dependem de um estudo prévio do sistema elétrico. O teste consiste em colocar um TG operando isolado em droop com uma carga acima do montante estabelecido, e reduzir gradativamente a frequência do sistema até o valor pré-definido deste modo do descarte de carga, verificar se o descarte ocorre de forma esperada.
- Teste de descarte de carga por subfrequência de modo gradual: esse modo de descarte tem a função de evitar a atuação da proteção elétrica de subfrequência e também da atuação de descarte de subfrequência instantânea. Neste caso devem ser definidos a frequência mínima de operação e o tempo de atraso na operação. Quando a frequência atinge o limite estabelecido e não ocorre recuperação na mesma durante o tempo de atraso, uma quantidade mínima de carga descartada com o intuito de evitar o descarte por subfrequência

instantânea. O teste consiste em colocar um TG operando isolado em droop e reduzir a frequência de operação gradativamente até atingir o limite estabelecido nesse modo de descarte (manter acima do modo de subfrequência instantâneo), verificar se o descarte ocorre no tempo e de forma esperada.

5.5 Conclusão

Neste Capítulo foram apresentadas as atividades de comissionamento (testes) que devem ser realizadas antes da entrada em operação de um Turbogenerador. A realização dos testes garante uma maior vida útil aos turbogeradores e maior confiabilidade para entrada em operação.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou desde os equipamentos que compõem um turbogerador até os testes que devem ser realizados de comissionamento para que um turbogerador entre em operação. Destacando-se as atividades de verificação e os testes funcionais essenciais para um comissionamento.

A descrição dos sistemas e subsistemas foi essencial para um entendimento mais global do funcionamento de um turbogerador e das partes que o compõem, facilitando o entendimento das atividades de comissionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Earl Logan, Jr., Vedanth Kadambi, and Ramendra Roy. ARIZONA STATE UNIVERSITY. Handbook of Turbomachinery. 2 ed. 2003
- [2] WIKIPÉDIA. Disponível: http://pt.wikipedia.org/wiki/Turbina_a_gás
- [3] WEG. Turbogenerador Linha S - Manual de Instalação, Operação e Manutenção. Revisão 0. Julho de 2008. Disponível: <http://weg.net/files/products/WEG-turbogenerador-manual-portugues-br.pdf>
- [4] Meherwan P. Boyce, Gas Turbine Engineering Handbook. 2 ed. 2002.
- [5] Vieira Jr., Walter de Mello. UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. Introdução ao Condicionamento e Comissionamento. 2006.
- [6] http://www.selinc.com.br/tab_ansi.htm
- [7] Lyons C., Willian. Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering. Volume 1
- [8] American petroleum Institute. Gas Turbine for the Petroleum, Chemical, and the Gas Industry Services. 4 ed. 1998