



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

Versão 1.0
GPT.YY
22 a 25 Novembro de 2009
Recife - PE

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRDUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT

**EXPERIÊNCIA OPERACIONAL DA ALSTOM EM PLANTAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA EM CICLO
COMBINADO E COGERAÇÃO UTILIZANDO GÁS DE ALTO FORNO**

**Marcos Brandizzi
Alstom**

**Christian Bohtz
Alstom**

RESUMO

Em função do desenvolvimento das tecnologias de combustão de gases de baixo poder calorífico em turbinas a gás, os novos empreendimentos siderúrgicos atualmente já incluem em seus estudos de viabilidade técnico e econômico, a análise desta tecnologia de queima dos gases produzidos nos alto-fornos de redução siderúrgicos, conhecidos como BFG "*Blast Furnace Gas*".

Este trabalho, portanto tem o objetivo de avaliar a experiência operacional da Alstom, as características técnicas e as vantagens das turbinas a gás, focando seu desempenho e os benefícios econômicos de sua aplicação utilizando os combustíveis de baixo poder calorífico produzidos no processo siderúrgico.

PALAVRAS-CHAVE

Geração de energia, Ciclo Combinado, Siderurgia, BFG, GT11N2

1.0 - INTRODUÇÃO

Em função do desenvolvimento das tecnologias de combustão de gases de baixo poder calorífico em turbinas a gás, tornou-se altamente viável a aplicação destas tecnologias em processos de queima dos gases produzidos nos alto-fornos de redução siderúrgicos. Os novos empreendimentos siderúrgicos atualmente refletem esta tendência e incluem em seus estudos de viabilidade técnico e econômico, a análise da tecnologia de queima destes gases em turbinas a gás.

Tradicionalmente estes gases eram queimados em caldeiras, porém com as aplicações das turbinas a gás GT11N2, a eficiência energética das instalações industriais aumentou, gerando mais energia elétrica para consumo próprio e propiciando também a venda do excedente de energia elétrica.

A planta de ciclo combinado KA11N2 foi especialmente projetada para queimar BFG e outros gases de baixo poder calorífico. Esta planta de geração é projetada em função da turbina GT11N2, que acumulando mais de 10 anos de experiência em aplicações siderúrgicas. Algumas destas aplicações estão em operação comercial oferecendo confiabilidade a este tipo de tecnologia de geração de energia, como:

Bao Shan (Baoshan Iron & Cia. de Aço, Ltd.), na China, abastecida exclusivamente por BFG, com eficiência de 46% e produção de energia de 154 Mwe, trazendo como vantagem adicional à alta performance da planta, as emissões atmosféricas com baixos índices de emissão de NOx e CO. Outra instalação em operação comercial é a planta Mizushima no Japão. Esta unidade acumula mais de 130.000 horas queimando somente BFG desde a sua entrada em operação no final de 2001.

Atualmente ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA) está construindo uma siderúrgica integrada no Brasil. Baseada em uma análise detalhada, a CSA selecionou a planta de ciclo combinado KA11N2 da Alstom que utiliza gás do processo siderúrgico. Com capacidade instalada de 490MW, estão sendo instaladas duas turbinas GT11N2, com previsão de operação comercial em 2009 no Estado do Rio de Janeiro.

Este trabalho irá avaliar os critérios adotados na CSA, o conceito da planta térmica, a importância da integração da siderúrgica com a planta de geração de energia elétrica, a experiência operacional da Alstom com BFG, focando nas características e vantagens da planta KA11N2 utilizando combustíveis de baixo poder calorífico produzidos no processo siderúrgico. Benefícios econômicos de sua aplicação em plantas de ciclo combinado que utilizam 100% de BFG versus plantas existente de mistura de BFG queimadas em caldeiras convencionais seguido de turbinas a vapor.

2.0 - GÁS DE BAIXO PODER CALORÍFICO (LBTU)

O processo siderúrgico produz muitos gases que podem ser utilizados para geração de energia. Os principais gases são os provenientes dos alto-fornos BFG – “*Blast Furnace Gas*”, da coqueria COG – “*Coke Oven Plant Gas*” e da aciaria LDG – “*Linz-Donawitz Gas*”. Tipicamente 40Mwe a 50Mwe podem ser produzidos por 1 milhão de toneladas de produção anual da siderúrgica.

2.1 Gás de alto-forno (BFG)

Produzido em grande quantidade, o BFG tem baixo valor calorífico, entre 2.000 kJ/kg a 2.500 KJ/kg, com alto teor de impurezas. BFG nem sempre foi utilizado diretamente na queima, tradicionalmente era misturado com outros combustíveis de valor calorífico mais alto e assim sendo possibilitando sua queima em caldeiras convencionais, que geram vapor aquecido em alta pressão e utilizado em turbinas a vapor. O BFG foi introduzido como combustível principal queimado diretamente em turbinas a gás em plantas de ciclo combinado, sem a necessidade de mistura com gases de poder calórico maior.

A tabela 1 mostra a composição típica do BFG utilizado na plantas térmicas da Alstom em Bao Shan e Mizushima. A composição varia durante a operação. O valor calorífico pode variar durante a operação entre +/- 10%.

Tabela 1: Composição de BFG Bao Shan e Mizushima

	Mizushima BFG	Bao Shan BFG
	Vol.%	Vol. %
H ₂	3,45	2,78
O ₂	0	0,01
N ₂	49,62	49,89
CO	22,65	19,84
CO ₂	20,44	21,51
H ₂ O	4,03	5,97
LHV	2.418 KJ/KG	2.100 KJ/KG

2.2 Gás de coqueria (COG)

O gás de coque é subproduto do processo de degaseificação do carvão na siderúrgica integrada. Nem todas as siderúrgicas têm COG disponível, uma vez que a disponibilidade depende da tecnológica da coqueria. Com alto poder calorífico de até 40.000 kJ/kg, próximo ao do gás natural, seu uso preferível é substituindo o gás natural, por exemplo no aquecimento da laminação a quente. COG também pode ser queimado em turbinas a gás, porém com alta quantidade de resíduos, alcatrão e fuligem é necessário ser tratado e limpo. Esta limpeza faz com que o COG fique tão caro quanto o gás natural.

Se necessário, o COG pode ser usado em uma mistura com gás de baixo poder calorífico (LBtu) na planta térmica KA11N2. Contudo, a máxima proporção de 11%_{volume} de COG é possível quando misturado com um gás LBtu que tenha um poder calorífico menor que 2.500 kJ/kg.

Um terceiro gás, novamente em baixa quantidade do que BFG é o gás do convertedor, chamado de LDG ou BOG – “*Basic Oxygen Steelmaking Gas*”. LDG pode ser misturado com BFG e também utilizado na planta KA11N2. Outros LBtu gases, por exemplo, gases de sub-produto de processos industriais petroquímicos ou químicos, também podem ser aproveitados, mas as propriedades individuais dos mesmo devem ser cheçadas.

3.0 - CSA – UMA PLANTA SIDERÚRGICA COM SUA PRÓPRIA PLANTA TERMO ELÉTRICA

A produtora de aço brasileira ThyssenKrupp Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA) está construindo uma nova planta siderúrgica no Distrito Industrial de Santa Cruz na baía de Sepetiba, no município do Rio de Janeiro. Esta nova operação tem previsão de começar sua produção em 2009. A intenção deste complexo siderúrgico é de produzir 5 milhões de toneladas por ano de placas de aço de alta qualidade e baixo custo. Apoiado em uma configuração otimizada da planta, boas condições da localização e uma ótima qualidade do minério de ferro recebido. A produção será exportada diretamente para as instalações da ThyssenKrupp na Europa e na América latina para processamento adicional.

3.1 Capacidades necessárias da planta termoelétrica

Uma usina integrada é caracterizada pela interconexão dos diferentes sistemas. Com uma infra-estrutura otimizada, a planta de geração elétrica precisa ser customizada e integrada com a planta de siderurgia, já que a planta térmica tem um grande impacto na eficiência e na rentabilidade de todo o complexo siderúrgico. O propósito principal da planta de geração da CSA é converter 4,7 milhões de toneladas por ano de vapor de alta pressão provenientes da coqueria e aproximadamente 20.000.000 GJ/a de energia térmica do BFG de baixo valor calorífico em energia elétrica.

Uma parte do BFG é utilizada para aquecer o ar do alto forno. As variações de produção do BFG, em função da operação específica do alto forno, podem ser minimizada com a utilização do gasômetro. Conseqüentemente, uma parte dessa variação deverá ser absorvida pela planta térmica. A queima de BFG pelo sistema de segurança deve ser evitada, pois este procedimento leva a perdas.

O gás do convertedor, monóxido de carbono, produzido pela planta siderúrgica, também é utilizado na planta térmica sendo misturado junto ao BFG. Ao mesmo tempo, a planta térmica precisa gerenciar a demanda de vapor necessária no processo siderúrgico, através de uma extração controlada de baixa pressão (18 bar, 270 °C).

3.2 Avaliação das diferentes soluções ^[1]

Desde o início do projeto CSA, e em paralelo com o planejamento da produção de placas de aço, o fluxo de massa energético foi calculados conforme FIGURA 1.

De acordo com estes dados, a ThyssenKrupp decidiu os propósitos da planta de geração de energia elétrica.

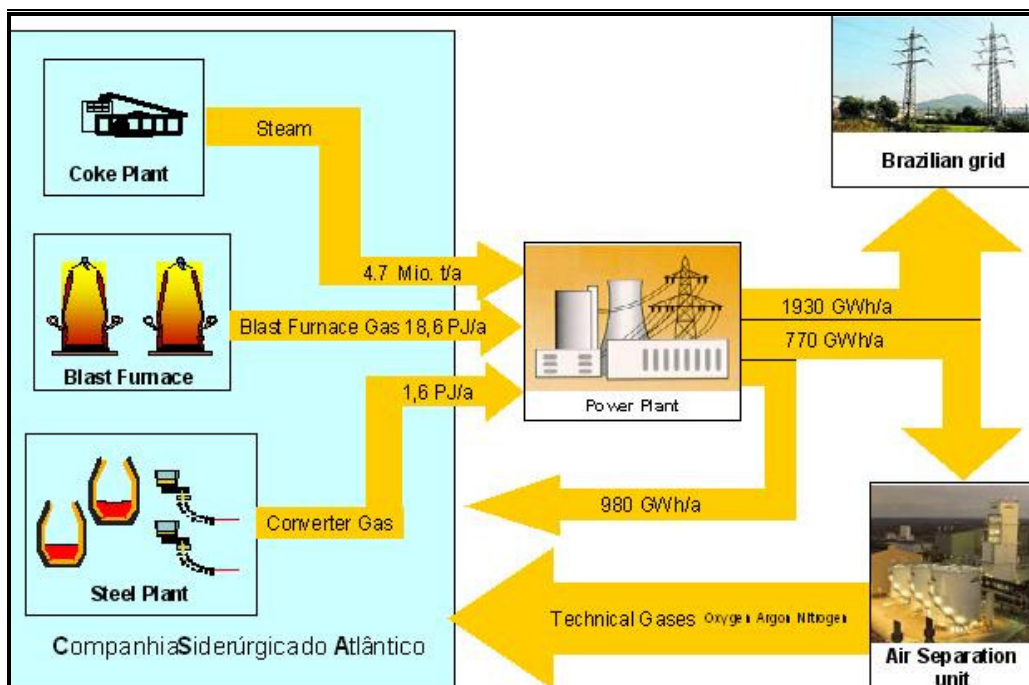


FIGURA 1 – Balanço de energia simplificado da siderúrgica CSA ^[1]

Os principais objetivos da planta de geração são:

- a. Maximizar o total de energia gerada;
- b. Supervisionar e controlar da rede de vapor (alto e baixa pressão).
- c. Evitar a necessidade de queima do gás no flaire (100% da utilização dos gases sub-produtos);

Para atingir estes objetivos os seguintes pontos tiveram que ser atendidos:

- a. Redundância no sistema e nos equipamentos (a planta de geração deve consistir de duas ou mais unidades independentes);
- b. Disponibilidade de cada unidade maior que 92%, e indisponível menor que 2%;
- c. Eficiência térmica de cada unidade maior que 40% (referências mostram eficiência entre 42% para plantas convencionais com caldeira e turbina e 45% para plantas de ciclo combinado LBtu);
- d. O impacto ambiental deve ser o menor possível (limites de emissões locais e internacionais devem ser atingidos).

Baseado nestas exigências, tanto a solução convencional com o gás BFG queimado na caldeira e turbina a vapor, como a configuração de ciclo combinado LBtu foram avaliadas e as seguintes vantagens e desvantagens foram identificadas, como seguem.

3.2.1 Vantagens da planta de ciclo combinado LBtu:

- Eficiência de 44% – 46%;
- Tempo de construção de 28 meses;
- Alta flexibilidade operacional;
- Possibilidade de operar a turbina a gás em ciclo simples (instalando chaminé de by-pass);
- Baixas emissões de NOx e CO;
- Baixo investimento quando comparado ao custo da solução de queima do BFG em caldeira.

3.2.2 Desvantagens da planta de ciclo combinado LBtu:

- Perda de energia devido à degradação e/ou contaminação do gás e do intervalo de limpeza dos compressores da turbina a gás e do combustível;
- Grande influência da temperatura ambiente, porém pode ser minimizada utilizando refrigeração do ar de entrada da turbina (com torre de resfriamento ou *high-fogging*);
- Disponibilidade de 92% a 94% (inspeção das partes quentes 24.000 horas de operação – EOH).

Para a ThyssenKrupp, os seguintes pontos foram os mais decisivos na escolha da planta de ciclo combinado LBtu da Alstom:

- Baixo tempo de construção de 28 meses;
 - Baixo custo de investimento;
 - Gás de alto forno suficiente para operar as duas turbinas a gás em ótima condição de carga;
 - Avaliação dos riscos comparáveis ao ciclo convencional;
 - Produção anual esperada maior.
- (Os aspectos econômicos serão avaliados no item 6.0)

4.0 - CONFIGURAÇÃO DA PLANTA KA11N2 LBTU PARA A CSA

As exigências específicas para o projeto CSA ilustram as exigências de uma planta térmica customizada em função da planta de siderurgia. A Alstom como integradora de planta avalia projetos e desenvolve plantas térmicas otimizadas que abrangem todos os requerimentos. Durante o processo de otimização, a Alstom utiliza seu conhecimento como fabricante dos principais componentes da planta e em sua vasta experiência em construção de plantas térmicas.

A planta de geração térmica que foi desenvolvida para a CSA é do tipo ciclo combinado KA11N2 com duas turbinas GT11N2 LBtu . As turbinas a gás geram 90MW cada uma com a temperatura ambiente na média de 25 °C. Os gases de exaustão das turbinas são enviados para uma caldeira de recuperação de calor que gera vapor (HRSG). As chaminés de by-pass instaladas permitem que as turbinas a gás operem em ciclo simples, fornecendo flexibilidade adicional.

O vapor proveniente da caldeira de recuperação da Alstom instalada após a turbina a gás, e os 551t/h de vapor provenientes da coqueria são utilizados na turbina a vapor produzindo 320MW. A turbina a vapor tem três estágios sendo um estágio de alta pressão e dois estágios de baixa pressão. A turbina a gás está conectada a um turbo-gerador Alstom do tipo TOPAIR refrigerado a ar e a turbina a vapor a um turbo-gerador Alstom do tipo TOPGAS refrigerado a hidrogênio. A Alstom também fornece o condensador refrigerado a água e o sistema de controle distribuído (DCS) baseado na tecnologia Alstom ALSPA P320.

A FIGURA 2 mostra uma ilustração da planta de geração com os blocos da turbina a gás ao lado direito e a turbina a vapor ao lado esquerdo. Construção da siderúrgica e da planta térmica está acontecendo em paralelo. Inicialmente a planta irá operar com a turbina a vapor consumindo o vapor proveniente das caldeiras da coqueria e com a turbina a gás em ciclo simples, para que o sistema fique on-line o mais rápido possível, e depois irá trabalhar em ciclo combinado. Alstom é provedora da planta completa com engenharia, suprimento e construção junto com contrato de manutenção e operação de mais de 12 anos, incluindo paradas planejadas e não planejadas para as duas GT11N2 LBTu, turbo geradores e auxiliar associados.



FIGURA 2 – Ilustração da planta térmica KA11N2 para a CSA

Como na planta da CSA não há COG disponível, a GT11N2 é perfeitamente adequada, já que pode operar somente com BFG puro e não precisa de gás natural. O fato de que as turbinas podem operar com BFG de baixa a 100% de carga com um alto resultado em cargas parciais resulta em uma planta de geração muito flexível.

A FIGURA 3 demonstra a flexibilidade da planta térmica e a capacidade de operar a planta de diferentes maneiras com componentes independentes para uma grande variação de entrada de BFG (eixo horizontal). Dependendo da quantidade de BFG, uma ou duas turbinas a gás estarão em operação, ou em ciclo simples (linhas mais baixas) ou em ciclo combinado com vapor adicional da coqueria (áreas na parte superior do gráfico).

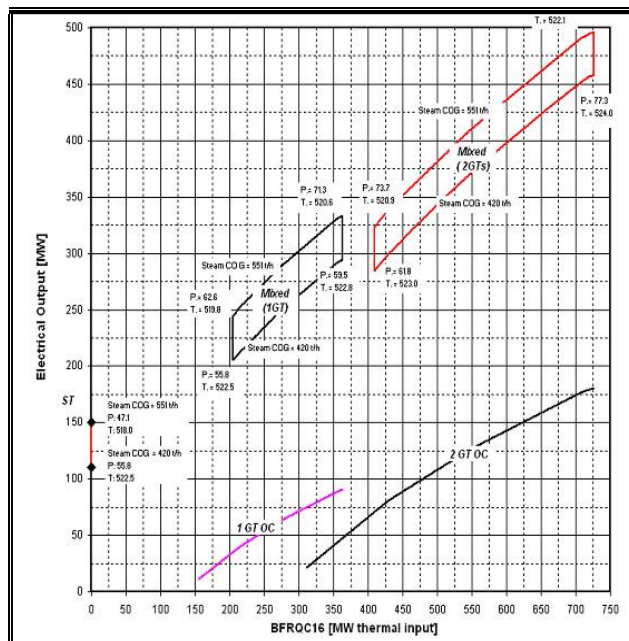


FIGURA 3 – Digrama operacional da planta CSA

4.1 Configuração da GT11N2 e características principais

A Turbina tipo GT11N2 foi desenvolvida originalmente para as aplicações industriais. O projeto da turbina GT11N2, como mostra a FIGURA 4, utiliza um silo combustor desenvolvido e consagrado, que tem capacidade de queimar estes combustíveis de baixo poder calorífico com alta eficiência.

A turbina tipo LBTU possui 16 estágios de compressão de ar com 3 guias de entrada de ar variável. Os 4 estágios de paletas da parte ativa são revestidas de forma apropriada e adequadas ao ambiente quimicamente agressivo. Sendo que os dois primeiros estágios da parte ativa são refrigerados utilizando o ar diretamente do compressor da turbina. O rotor é maciço, resultando em baixos custos de manutenção, o qual é também utilizado em todas as turbinas de fabricação ALSTOM a mais de 60 anos.

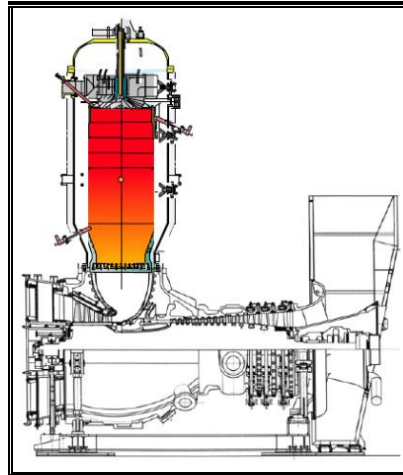


FIGURA 4 – Turbina a gás GT11N2

Normalmente os gases de sub-produto das siderúrgicas estão em baixa pressão (100 mbar até 250 mbar). O BFG do alto forno é primeiramente limpo em precipitador eletrostático úmido e depois é comprimido em dois estágios até 16bar para a combustão na turbina a gás. A FIGURA 5 mostra um arranjo de único eixo da GT, compressor e gerador.

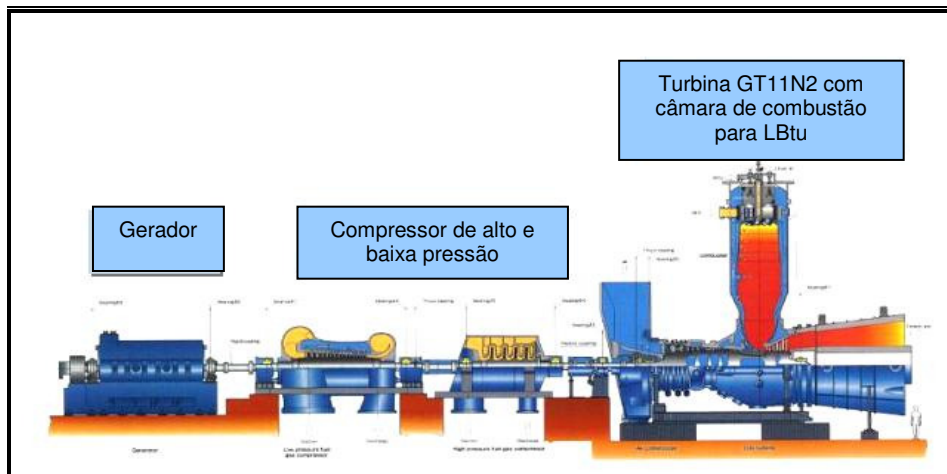


FIGURA 5 – Vista em corte do bloco de potência com turbina GT11N2 LBTu para 60Hz

4.2 LBTu silo combustor

O silo combustor da turbina GT11N2 LBTU foi especialmente projetado para queima de combustíveis de baixo poder calorífico, é aproximadamente 10 vezes maior que o combustor para queima do gás natural. Por outro lado, a temperatura do gás de expansão na parte ativa da turbina é mais baixa se comparada com a combustão do gás natural, justamente pelo tamanho do silo. O combustor é funcionalmente dividido em duas partes: zona primária, onde a mistura do BFG e ar acontecem, dentro das relações necessárias, que irão assegurar uma chama estável, e a zona secundária onde a combustão se completa com utilização ainda de diluição de ar.

4.3 Queimador LBTU

O queimador LBTU foi projetado baseado na experiência da ALSTOM Power nas diversas aplicações com mais de 2.000.000 horas de operação. Sendo que algumas unidades acumulam mais de 260.000 horas de operação. O queimado tem um diâmetro de 1.3 m, com separadores do gás BFG e ar, sendo que a área do separador destinada ao BFG foi projetada para queimar os gases com menor valor calorífico na ordem de 1.800 kJ/kg. O ar e os gases saem dos respectivos separadores criando um redemoinho, formando uma mistura quase estequiométrica, ocasionando uma chama estável dentro do combustor. Esta tecnologia faz da turbina GT11N2 LBTU a maior turbina industrial com capacidade de operação em carga básica, queimando exclusivamente gases de baixo poder calorífico.

5.0 - EXPERIÊNCIAS PASSADAS EM PLANTAS KA11N2 LBTU

A Alstom constrói plantas de geração de Energia elétrica para a indústria siderúrgica a mais de 50 anos. Temos um exemplo de uma turbina a gás na planta siderúrgica Donawitz operando desde 1958 até 2008 com BFG acumulando mais de 280.000 horas de operação. Os dois projetos mais recentes com de planta KA11N2 LBtu são Bao Shan na China e Mizushima no Japão.

5.1 Projeto Bao Shan

A primeira planta KA11N2 LBtu foi construída em 1994 para a *Bao Shan Iron & Steel Corporation*, a maior produtora de aço da China. Esta planta de 150 MW em ciclo combinado, queimado BFG nas turbinas a gás GT11N2. Esta planta de ciclo combinado é capaz de produzir 150MW condensando até 170 t/h de vapor provenientes do processo siderúrgico. A planta térmica tem uma eficiência melhor do que a esperada de 46,1% e gera 154MW.

Devido ao bom estado das partes quentes da turbina durante as inspeções, uma extensão da principal parada de inspeção foi concedida, que foi executada no início de 2000.

Na média a confiabilidade do bloco de potência foi de 98.9% durante três anos no período de Abril 1998 a Março 2001. No começo de 2009, a turbina a gás já tinha acumulado mais de 80.000 horas de operação.

5.2 Projeto Mizushima

Outra referência em operação comercial é a Planta de Cogeração Mizushima, no Japão, que fornece energia elétrica e vapor para o processo de produção de aço. A turbina a gás em ciclo simples fornece 90MW e o vapor é gerado em uma caldeira de recuperação. O projeto foi executado em um cronograma bastante apertado, por se tratar de um fornecimento Turn key integrado ao processo industrial com todas interferências relativas. Mesmo nestas condições os testes de performance foram executados 26 meses após a assinatura do contrato, sem atrasos, e operação comercial no início de Novembro de 2000.

No procedimento de partida, a turbina a gás parte através do sistema de inversão extática, até a rotação nominal devida para ignição utilizando o óleo #2. Após atingir a velocidade nominal de 3600 rpm, sincronizar, e ter uma de carga em 15MW, o sistema de combustível é chaveado para BFG. Já no procedimento da parada o combustível auxiliar, óleo #2 irá entrar quando a rampa de parada atingir aproximadamente 45 MW. Quando a operação somente com BFG é atingida, a GT11N2 pode operar com BFG entre baixa a 100% de carga. A condição nominal é atingida em aproximadamente 40 minutos após a seqüência de partida iniciada.

No começo de 2009, esta unidade já tinha acumulado mais de 50.000 horas de operação.

5.3 Performance do combustor

O poder calorífico dos gases BFG em ambas as plantas mostraram um range de flutuação de pelo menos +/-10%. Estas flutuações foram impostas pelo processo do alto-forno industrial e suas fontes de alimentação, ocorrendo instantaneamente. Em alguns casos excepcionais o poder calorífico do BFG caiu abaixo dos 1.900 kJ/kg. Entretanto o processo de combustão permaneceu estável, mesmo nas condições adversas, criando por vezes aumento do nível de pulsação ou emissões.

Com relação às emissões de NOx com BFG, foram sempre excepcionalmente baixas. Valores de 1 a 2 vppm (corrigidos a 15% O₂), medições constantemente repetidas, que detectaram uma variação bastante pequena, portanto níveis considerados muitos baixos para uma instalação industrial.

Valores de poder calorífico de gases mais elevados poderão determinar emissões de NOx maiores, do que as medidas em Bao Shan e Mizushima, mas serão sempre abaixo de 10 vppm com a composição típica do BFG.

As emissões medidas de CO são também muito baixas, menores de 10 vppm, indicando que o tempo residente de combustão no combustor é suficiente para atingir uma quase completa combustão de aproximadamente 20% do CO originalmente do BFG. Emissões de particulados estão abaixo de 0.5 mg/Nm³ sem a instalação de filtros de mangas antes das chaminés. O nível de pulsação durante a operação estão abaixo de 15 mbar medidos durante toda as faixas de operação da turbina a gás. Estes valores estão abaixo dos esperados pelo projeto.

As experiências mostram que a planta KA11N2 já está comprovada e pode ser utilizada em todas as aplicações de co-geração ou ciclo-combinado.

6.0 - ASPECTOS ECONÔMICOS DA PLANTA DE LBTU

O custo da planta de geração de energia elétrica é influenciado por vários fatores. Para uma planta LBTu os fatores principais são a disponibilidade do BFG como combustível, o custo de investimento, o custo da eletricidade, os quais devem ser avaliados em relação a outros tipos de plantas.

Um estudo representativo de um caso típico de planta de geração BFG mostra que para uma quantidade BFG em qualquer siderúrgica, uma planta KA11N2 LBTu gera 25% mais energia e vapor quando comparado a caldeiras convencionais. Em outras palavras, 50 MWe adicionais podem ser gerados em uma planta KA11N2-2 com o mesmo balanço. O investimento inicial da planta de cogeração será amortizado pelo ganho monetário da venda da energia adicional depois de alguns anos de operação.

Além da avaliação econômica, outros pontos adicionais a favor da planta de ciclo-combinado são:

- a. Redução das emissões de gases e particulado;
- b. Economia considerável com equipamento de controle da poluição do ar;
- c. Redução de emissões de CO₂ devido a melhor eficiência;
- d. Com a utilização do sub-produto de baixo valor calorífico como combustível, os combustíveis de alto valor calorífico podem ser utilizados em outros processos industriais que não a geração de energia elétrica.

Quando comparamos a planta KA11N2 LBTu com outra planta de ciclo combinado, o fato de que a KA11N2 LBTu pode usar BFG puro e não precisa de gás natural trás vantagens adicionais que devem ser levadas em consideração.

Outras turbinas a gás não podem queimar somente BFG e precisam misturá-lo com COG ou gás natural para que se obtenha um maior valor calorífico. Mesmo que precise ser adicionado apenas 2-3% de gás natural no fluxo de BFG, o custo anual pode significar de USD 10 milhões. Devido alto valor calorífico do gás natural, isto significa que 30% do poder calorífico queimado na turbina a gás é proveniente do gás natural. Se houver COG disponível na planta, é vantajoso usá-lo como substituto do gás natural, e não é necessário grandes sistemas de limpeza dispendioso como nas turbinas tradicionais.

Isto comprova que a planta KA11N2 LBTu não está somente aprovada tecnicamente como também economicamente.

7.0 - CONCLUSÃO

O BFG proveniente do processo siderúrgico pode ser utilizado economicamente como combustível principal em uma planta de alta eficiência em ciclo combinado ou co-geração. As unidades e os componentes das plantas já foram comprovados por sua durabilidade durante mais de 130.000 horas de operação.

A CSA selecionou a planta de geração da Alstom KA11N2 para a sua nova planta siderúrgica no Brasil. Em particular o curto prazo de fornecimento, o baixo custo de investimento e o cumprimento dos requisitos operacionais fizeram desta planta mais satisfatória do que as plantas convencionais que queimam BFG em caldeiras.

As plantas de ciclo combinado KA11N2 apresentam uma eficiência melhor quando comparada à planta que se baseiam na queima do BFG em caldeiras. Devido à capacidade de queimar somente o gás do alto forno e não necessitar de gás natural, podendo adicionar COG sem necessidades de grandes investimentos no sistema de limpeza, esta planta tem um baixo custo de operação. Com a operação entre baixa a 100% de carga de BFG, a planta é muito flexível, em particular com uma ótima integração na planta siderúrgica. Adicionalmente, os benefícios ao meio ambiente que são resultados da alta eficiência e, portanto, baixas emissões de NO_x e CO.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Andreas Stolbrink, Karl Reyser: "Erection of a 500 MW Power Plant as Part of the New, Integrated Steelworks of ThyssenKrupp Steel AG in Brazil", VGB PowerTech 1/2 2009
- [2] K. Iffländer et al: "Operating CCGT and cogeneration power plants on blast furnace gas", Power-Gen Europe 2002, Milan (Italy)