

APROVEITAMENTO DE GASES SIDERÚRGICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM MOTORES A GÁS ¹ UMA CONTRIBUIÇÃO IMPORTANTE PARA EVITAR A MUDANÇA CLIMÁTICA

Gustavo Nielsen²
Martin Schneider³
Barbara Marschik⁴
Erwin Amplatz⁵

Resumo

Os motores de gás mostram uma elevada flexibilidade na utilização de gás siderúrgico. Até o presente, os motores de gás de GE Jenbacher de têm mais de 1.5 Milhões de horas de funcionamento com aplicações existentes tais como o gás de coque ou de LD-convertidor. A abordagem modular com múltiplas unidades por usina de energia oferece alta flexibilidade na operação de planta. A usina de energia pode ser operada em uma ampla faixa com eficiência otimizada. Esta flexibilidade permite a utilização econômica mesmo de volumes relativamente pequenos de gás siderúrgico, evita o flaring, e pode substituir outros combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Gás; Geração; Energia; Eletricidade.

UTILIZATION OF SIDERURGICAL GASES IN GAS ENGINES FOR POWER GENERATION AN IMPORTANT CONTRIBUTE TO AVOID THE CLIMATE CHANGE

Abstract

Gas engines show a high flexibility regarding the utilization of siderurgical gases. In the meantime GE's Jenbacher gas engines have more than 1.5 Mio operating hours with existing applications like Coke gas or LD-gas. The modular approach with multiple units per power plant offers high flexibility regarding plant operation. The power plant can be operated in a wide range in an optimized efficiency band. This flexibility allows the economical utilization even of relatively small volumes of siderurgical gases, avoids flaring and can substitute other fossil fuels.

Key words: Gas; Power generation; Electricity.

¹ *Contribuição técnica ao 30° Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 24° Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais, 19 a 21 de agosto de 2009, São Paulo, SP*

² *Gerente de Vendas para o Cone Sul da GE Jenbacher*

³ *Executive Product Manager para gases industriais da GE Jenbacher, Austria*

⁴ *Marketing Specialist de GE Jenbacher, Austria*

⁵ *Engenheiro da GE Jenbacher, Austria*

1 INTRODUÇÃO

O aumento da consciência ecológica, e de que as reservas da energia primária sob a forma dos combustíveis fósseis são limitadas, fazem necessário utilizar economicamente as fontes de energia disponíveis. As emissões do CO₂ e dos outros gases de efeito estufa são um dos grandes problemas ambientais de nosso tempo. De todos os gases existentes atualmente na atmosfera de terra, o dióxido de carbono (CO₂) é claramente o maior contribuinte individual ao efeito estufa antropogénico.

Durante o processo de fábrica do aço são produzidos grandes volumes de gás residual, que incluem o CO₂. Sem uma prática geral para a utilização destes gases, os gases siderúrgicos se utilizam em maneiras diferentes. Atualmente, prática comum inclui a utilização de uma combinação de uma caldeira e de uma turbina vapor, bem como a queima do gás na atmosfera. No último caso, a energia desperdiçada pode alternativamente ser utilizada para gerar a energia, substituindo o combustível fóssil da rede de energia pública com o uso de sistemas de cogeração com os motores de gás. Onde aplicáveis, tais projetos podem igualmente ser realizados sob o mecanismo de desenvolvimento limpo do protocolo de Kyoto (CDM).

As plantas de cogeração com motores de gás produzem a eletricidade e calor em forma descentralizada, onde são utilizados. A tecnologia de cogeração com motores de gás representa a possibilidade ecológica e economicamente atrativa para utilizar diversos tipos dos gás. Esta tecnologia oferece altos níveis de eficiência na utilização da energia, com mínimo impacto ambiental. A eficiência elevada dos sistemas de cogeração produzem baixos custos de energia, e conseqüentemente, altamente viabilidade; significa também economia de energia e baixas emissões à atmosfera.

2 SOLUÇÕES EXISTENTES COM MOTORES A GAS PARA GASES SIDERÚRGICOS

Atualmente, os motores de gás são utilizados principalmente com gás natural, biogás ou gás de aterros sanitários. O uso de gás siderúrgico como o gás de coqueria ou gás de convertidor, com baixos valores caloríficos ou composições variáveis do gás, no que diz respeito às exigências comuns dos limites de emissão para qualidade do ar é um desafio novo para o desenvolvimento do motor de gás. Os motores de gás altamente sofisticados, com sistemas de gestão inteligentes do motor, permitem hoje a utilização de gases que não poderiam ser queimados há alguns anos. A Divisão de Motores a Gás Jenbacher da GE entregou plantas de cogeração que funcionam com gás de coqueria (até 70% de H₂), gás do pyrolysis de gasificação de lixo doméstico (35% de H₂) e gases da indústria química, com valores extremamente baixos de poder calorífico (0.5 kWh/m³). Baseado nesta experiência, um amplo leque de gases pode agora ser usada em motores de gás.

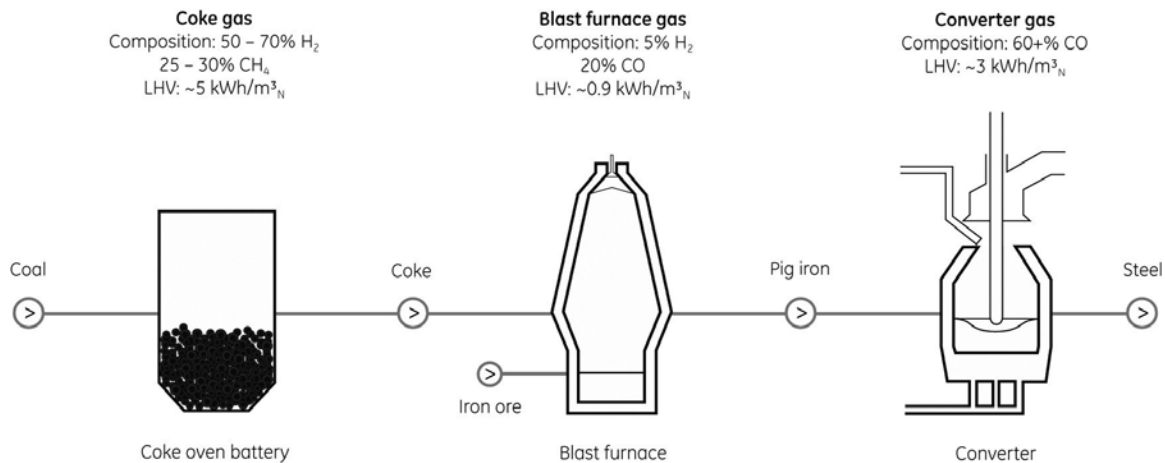


Figura 1: Gases siderúrgicos que estão atualmente em uso em motores GE Jenbacher. **Fonte.**

Há um total de 26 motores de gás GE Jenbacher em três locais no Norte de Espanha, utilizando o gás de forno de coque ou o gás de LD-convertidor. Com estes três projetos, a equipe do produto de Jenbacher completou um substancial trabalho de pesquisa nesta aplicação, tendo instalado o primeiro projeto comercial para o gás de forno de coque em 1995 e para o gás do LD-convertidor em 2004. Em conseqüência, GE é uma das primeiras companhias no mundo para fornecer a tecnologia específica do motor de gás que utiliza os gases residuais de processo da produção de aço para gerar energia eficientemente. Com gás do coque - que é fácil de inflamar, e a combustão em um motor de gás é relativamente simples - o desafio principal é controlar a reactividade elevada dos gases ricos em hidrogênio. O gás do convertidor, por outro lado, exige um processo especializado de combustão e, conseqüentemente, um desenvolvimento específico do motor a gás.

3 EXPERIÊNCIA COM GÁS DE COQUERIA EM MOTORES A GÁS

A companhia "Profusa SA" em Bilbao tem um gás disponível com alto teor de hidrogênio como um produto residual da produção do coque. Desde agosto 1995 o gás da coqueria é queimado em 12 motores de gás GE Jenbacher JGS 316 GS-S.L e convertido energia elétrica com potência máxima de 6.5 MW. O projeto especial do motor, bem como o equipamento de mistura do gás apropriado, fazem possível operar os motores com 100% de gás de coqueria, 100% de gás natural, ou com uma mistura de gás de coqueria / gás natural. O gás da exaustão é usado em parte para o tratamento de águas residuais, e em parte para a produção do vapor.



Figura 2: Usina com gás de coque "Profusa SA"; 12 x J316GS; 7.16 Mwe.

Tabela 1: Dados técnicos de planta de gás de coqueria “Profusa”

Numero de unidades:	12 x JMS 316 GS-S/N.L
Gas combustível:	COG, gas natural, ou mistura
Potência elétrica	7.16 MWe (12 x 596 kWe)
Potência térmica	~8.95 MWth (água quente)
Commissionamento:	Dezembro 1995
Horas operadas (06/2008)	~100,000 oph/por motor

Tabela 2: Composição do gás

Componente	Valor approx.
H2	55 – 60Vol%
CH4	25 - 30 Vol%
CO	~5 Vol%
CO2	~5 Vol%
PCI	~ 4.8 kWh/Nm3

Além disso, GE Energy forneceu duas unidades de cogeração GE Jenbacher com um total de potência elétrica de 4 MW a Industrial Química del Nalón (maior produtor espanhol de coque para fundição de alta qualidade) para a produção combinada de calor e de eletricidade, utilizando o gás de coque como o combustível dos motores.



Figura 3: Motores a gás de coqueria 2 x J620GS.



Figura 4: Casa de máquinas, planta de 4 MWe; Asturias, Espanha

Em meados de 2008 duas unidades cogeração GE Jenbacher JMS 620 GS-S/N.L tinham estado em funcionamento por mais de 70.000 horas. Cada unidade GE Jenbacher fornece uma potência elétrica de 1.970 quilowatts e uma potência térmica de 1.120 quilowatts. Ambas as plantas de GE Jenbacher são equipadas para funcionar puramente com gás do coque (CG) dos 22 fornos de coque, ou com gás natural (NG) ou com uma mistura de ambos eles – até um mínimo de gás natural de 30%.

A fábrica do coque produz mais de 120.000 toneladas de coque anualmente. As unidades de GE Jenbacher utilizam 70% do gás proveniente do coque, gerando anualmente, desse modo, 58 milhões de kWhel, que é equivalente a aproximadamente 13 milhão Nm³ Gás natural.

O suprimento de gás é fornecido por um único trem de gás para cada motor GE Jenbacher. Os trens de gás são projetados para um fluxo do gás de aproximadamente 1.200 Nm³/h com uma conexão DN 200 e incluem um supressor de chama. Este trem de gás pode funcionar com os três tipos de gás (gás de coqueria, gás natural, ou uma mistura de ambos) e é equipado com materiais especiais para a aplicação de gás de coque. Adicionalmente, os trens do gás incluem o aquecimento do fluxo, que evita a condensação de alcatrão dentro do trem do gás. Duas estações de mistura, uma por o motor, fornecem ao cliente a possibilidade para funcionar ao mesmo tempo cada motor com misturas diferentes.

Parte do calor gerado no circuito de alta temperatura é recuperada através de um trocador de calor de placa, para pré-aquecer a água para a caldeira. O restante é dissipado em dois radiadores. Todo o calor gerado no circuito de baixa temperatura é dissipado em duas torres refrigeração.

O calor do gás de exaustão é recuperado individualmente através de dois trocadores de calor de gás de escapamento para ar, permitindo um uso mais seguro do calor do gás de exaustão.

O calor da exaustão de uma das unidades GE Jenbacher é usado para a produção do vapor, que é utilizada em alguns processos secundários do tratamento do produto (por exemplo, limpeza), bem como para o sistema de aquecimento central da planta. O calor da exaustão de um segundo motor instalado é usado para processos de secagem de partículas finas, permitindo o reúso dentro do processo de produção do coque. Ambos os sistemas de exaustão individuais são equipados com um sistema da válvula de segurança.

Benefícios para o cliente:

- fornecimento de energia eficiente e económico usando o gás de coque, um subproduto “gratis” da produção industrial do coque, como o combustível do motor;
- a produção de calor do calor a partir da recuperação de calor do motor incrementa a viabilidade econômica; e
- flexibilidade do combustível, pela possibilidade operar a planta igualmente com gás natural, assegura alta disponibilidade.

Tabela 3: Dados técnicos da planta de gás de coqueria “Sama”

Número de unidades	2 x JMS 620 GS-S/N.L
Combustível	COG, NG ou mistura
Potência elétrica	3.94 MWe (2 x 1,970 kWe)
Potência térmica	2.2 MW (hot water)
Produção de vapor	1t/h vapor sat. a 4 - 5 bar
Comissionamento	Dezembro 2003
Horas Op. (06/2008)	~35,000 oph/por motor

Tabela 4: Composição do gás

Componente	Valor approx.
H ₂	60 – 70Vol%
CH ₄	~24 Vol%
CO	~5 Vol%
CO ₂	~5 Vol%
LHV	~ 4.8 kWh/Nm ³

4 EXPERIÊNCIA COM GAS DE CONVERTIDOR (GAS DE LD) COM MOTORES A GAS

Doze dos motores GE Jenbacher (tipo JMS 620 GS-S/N.LC) estão funcionando em um original projeto de cogeração que utiliza o gás de convertidor-LD criado durante a produção na fábrica de aço de Aceralia em Avilés, aproximadamente 470 quilômetros ao Norte de Madrid.

Desde o motor de teste até a completa frota instalada:

Em outubro 2003 foi instalado um motor de teste GE Jenbacher J620 GS para obter experiência inicial com este tipo de gás e para aperfeiçoar a combustão. O motor de teste foi equipado com todo o equipamento necessário do banco do teste, para analisar completamente a combustão e o comportamento do motor em relação às mudanças na qualidade do combustível. A experiência destes primeiros testes foi analisada e usada para aperfeiçoar mais ainda o motor de teste. A forma do pistão, a relação de compressão e o ajuste do turbo compressor foram afinados para conseguir a eficiência mecânica máxima e uma temperatura adequada do gás de exaustão para a produção futura do vapor. Um conceito detalhado da segurança foi desenvolvido adicionalmente para levar em consideração todo o risco possível que poderia ser causado pelo índice do CO do gás de combustível.



Figura 5: Motor a gás piloto „Acerpruebas“ on site (2003).

Após um período do teste de aproximadamente 3.000 horas com diversos ajustes do motor, 11 motores adicionais foram entregues baseados nos resultados do motor inicial de teste.

O comissionamento foi terminado em setembro 2004 e a instalação entrega agora aproximadamente 20 Mwe, 12 MWth de água quente e 18t/h o vapor saturado a 21.5barg (energia 12.6MW térmica).



Figura 6: Power house 12 x J620GS; 20.4Mwe

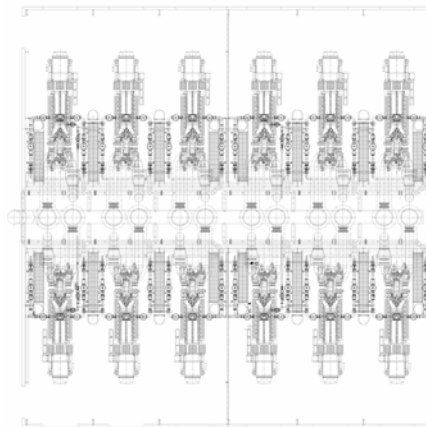


Figura 7: Planta layout

Os motores a gás estão equipados com o DIA.NE – o sistema de gerenciamento do motor de gás GE Jenbacher, que compreende controles industriais centrais poderosos que possuem laços abertos, laços fechados e monitoração do motor de gás, assim como o visualização. É conectado ainda ao Modem-Server do DIA.NE que permite o controlo remoto via HERMES. O controle é equipado adicionalmente com o Profibus, que permite uma comunicação direta com o sistema de controlo total da planta.

Três dos doze módulos podem queimar o gás do convertidor LD ou o gás natural. Para o gás do convertidor LD são usados quatro trens de gás em paralelo de tamanho DN200 para lidar com o fluxo elevado do gás (aproximadamente 2.000 Nm³/h) devido ao baixo valor calorífico do gás. Além disso, foram usados materiais especiais para os filtros e os instrumentos a fim manter longa vida dos componentes mesmo com umidade elevada no gás. O trem de gás natural é de uma dimensão muito menor, projetada para um fluxo de gás aproximadamente de 400Nm³/h. Os motores de gás GE Jenbacher operam com ajustes separados de parâmetros para assegurar a operação óptima apesar da enorme diferença do valor calorífico entre os gases. O gás natural assegura a operação no caso de uma redução no fornecimento de combustível originado na produção de aço.



Figura 8: Sala de controle.



Figura 9: Vista de 3 dos 12 motores.

O gás de exaustão liberado na saída de cada grupo gerador entra em uma tubulação em “Y” o conduz a uma saída da emergência equipada com uma válvula de segurança, em caso de backfiring. Sob circunstâncias normais o gás de exaustão de cada motor é enviado a um duto individual que inclui um silencioso para gás de exaustão, um conversor catalítico e uma válvula de três vias, que conduz o gás para atmosfera ou à caldeira de gás de exaustão comum, através de uma aleta dupla de gás de exaustão com o ventilador do ar de selagem. Desta forma é prevenido o recuo do gás de exaustão quente de um motor operando para outro parado.

A caldeira de recuperação de calor tipo tubular é projetado para o fluxo máximo de um total de 16 motores trabalhando juntos. A caldeira é equipada com um preaquecedor, um evaporador e um superheater. Inclui uma chaminé principal e uma by-pass stack para a partida e parada dos grupos geradores. A caldeira está equipada também com um reheater, capaz de aumentar a produção do vapor até 35 t/h, ou 20t/h com os geradores parados.

O gás produzido pelo LD chega à planta de cogeração através de uma tubulação que vem do convertidor-LD. Dois tipos de válvulas são instalados na saída da fábrica. Uma é uma válvula goggle que assegura 100% do fechamento hermético e isola a nova instalação durante paradas programadas. A outra é uma válvula de fechamento que, em caso de um alarme na planta de cogeração (devido a um escape do gás, a uma falta de energia etc.), por meio de um solenóide corta a entrada do gás e isola a instalação.

O gás natural é utilizado na planta como um combustível auxiliar para os motores de geração e também para os queimadores da caldeira. Este combustível chega à planta por meio de um gasoduto de 16 bars. A pressão é reduzida a 3 bars na estação do regulação e medida. A estação é projetada para um fluxo máximo de 8.500 Nm³/h.

A eletricidade é produzida nos alternadores síncronos Leroy de meia-tensão, conectados diretamente aos motores. Cada alternador tem uma potência de 2.407 kVA em 10.500 V. A tensão é elevada a 132 kV para a exportação à rede, por meio de um transformador elevador ABB de 22/29 MVA.

A planta de produção do vapor sobreaquecido é projetada especificamente queimar coque, gás do LD-convertidor e/ou o gás natural em suas caldeiras. O gás de coque é o combustível preferido e o gás natural é empregado sempre que necessário.

Tabela 5: Dados técnicos da planta de gás de LD "Aceralia"

Numero de unidades	12 x JMS 620 GS-S/N.L
Gás combustível	LDG altern. Gás natural (3 motores)
Potência Elétrica	20.4 MWe (12 x 1,7 kWe)
Potência térmica	~12 MW (água quente)
Produção de vapor	18t/h vapor sat. a 21.5 bar
Comissionamento	Setembro 2004
Horas de operação (06/2008)	~25,000 oph/por motor

Tabela 6: Composição do gás

Componente	Valor approx.
H2	~1 Vol%
CH4	~24 Vol%
CO	60 -75 Vol%
N2	~13 Vol%
CO2	~13 Vol%
PCI	2 - 2.4 kWh/Nm3

Benefícios ao cliente

- o uso energético do gás do convertidor LD em motores de gás está oferecendo a melhor eficiência com mínimo impacto ambiental; e
- a produção de calor adicional da recuperação de calor do motor aumenta mais a viabilidade econômica.

5 UTILIZAÇÃO DE GÁS DE ALTO FORNO EM MOTORES A GÁS

O gás de alto-forno (BFG) é um desafio novo para motores de gás modernos. O BFG apresenta um poder calorífico extremamente baixo (PCI ~ 0.7 kWh/Nm³) e um desafio na relação entre os componentes combustíveis como o CO e hidrogênio e os componentes inertes CO₂ e N₂. Dependendo da composição individual, pode ser necessário uma pequena quantidade de gás de coque ou de gás natural para melhorar a combustão no motor. Adicionalmente deve ser desenvolvido e projetado um conceito específico da combustão para esta aplicação.

O critério principal para gases pouco caloríficos está a uma velocidade laminar da chama, que é um indicador de quanto de rápido a chama pode progredir através de toda a câmara de combustão. Sempre que a composição de BFG estiver dentro de determinados limites, a combustão em um motor de gás deve ser possível sem enriquecimento adicional do combustível, abaixo de um determinado limite, será requerido combustível adicional como gás COG ou o LWS.

Tabela 7: Composição típica do gás de alto-forno (BFG)

		Media	Desvio padrão
H2	Vol%	3,80	0,52
N2	Vol%	48,46	1,59
Ar + O2	Vol%	0,62	0,03
CO	Vol%	24,43	0,69
CO2	Vol%	22,50	0,80
total	Vol%	99,81	0,45

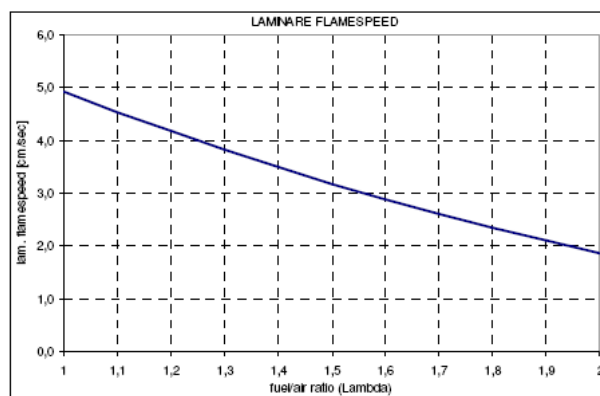


Figura 10. Velocidade laminar da chama do BFG).

A análise da velocidade laminar do BFG relevante mostrou que poderia ser queimada em um motor de gás somente com um conceito especialmente desenvolvido de combustão. Devido que nenhuma solução de motor a gás de alto-forno estava disponível no mercado, foi estabelecido um acordo de cooperação entre uma companhia líder da indústria de aço e a Divisão de Motores a Gás Jenbacher da GE para desenvolver uma solução de motor a gás para o gás de alto-forno. A fim de encontrar a solução adequada para esta aplicação, foi usado uma abordagem de múltiplas etapas para o desenvolvimento do produto. Na primeira etapa os testes foram realizados em um único cilindro, para avaliar o potencial de diferentes conceitos de motor com BFG artificial. Baseado nisto, a validação e a otimização final do produto foram realizadas por um motor piloto similar ao desenvolvimento do LD-gás em Aviles/Spain, seguidos por uma planta comercial completa.

Esta abordagem do teste foi concebida para permitir os testes necessários para garantia:

- atender a estrita legislação ambiental relativa a limites de emissões;
- confiar nas faixas operacionais de trabalho do motor a gás com composição variável de (todos!) os gases siderúrgicos disponíveis;
- minimizar a injeção de gás de coque para apoiar a combustão do gás de alto-forno;
- determinar o rendimento definitivo da conversão e a potência nominal por motor a gás; e
- confirmar a confiabilidade e a relevância econômica da operação do motor a gás com gás de alto-forno.

Os testes a escala de laboratório com gás de alto-forno artificial passaram com sucesso e a estratégia preferida do conceito do motor foi escolhida, baseada nos resultados do motor de teste de um cilindro.



Figura 11: Estação de mistura de BFG sintético (CO, H₂; CO₂..)



Figura 12: Motor de um cilindro – lab test.

Baseado nos resultados do teste de um cilindro, o motor piloto containerizado foi construído e comissionado com sucesso em agosto 2008.



Figura 13: Planta piloto para uso de BFG



Figura 14: Motor piloto J620GS

Os primeiros resultados têm excedido as expectativas e têm confirmado já os resultados básicos de funcionamento do teste do único cilindro. O motor pode balancear as flutuações dos gases siderúrgicos. Até o momento o programa de teste está ainda em curso, porém os resultados preliminares são promissórios. O relatório final, que inclui uma inspeção após 3.000 oph está programado para abril 2009.