



Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

APLICAÇÃO DO GÁS NATURAL NA INDÚSTRIA METALÚRGICA

Marceli Talita Pereira¹, Marcelo Antônio Ribeiro¹, Augusto Henrique Missner¹, Thiago Warmling¹,
Marcos Antônio Rebello¹, Max Hermann¹, L. G. de M. Freire² e Mônica de Mesquita Lacerda¹

¹ Instituto Superior Tupy – Sociedade Educacional de Santa Catarina, R. Albano Schmidt
3333 Boa Vista, Joinville SC, monica@sociesc.com.br

² Gerência de Tecnologia de Desenvolvimento de Mercado - Petrobrás
lgfreire.technip@petrobras.com.br

Resumo – Este trabalho consistiu em estudar a utilização do Gás Natural (GN) em alguns setores da indústria metalúrgica, entre eles, o de aquecimento de panelas, o de confecção de machos e moldes de areia, o de tratamento térmico e também o de fusão de metais não ferrosos como o alumínio. Seu foco principal foi o estudo de viabilidade econômica, realizado através de levantamentos de dados de consumo, eficiência energética e produtividade. Sua importância encontra-se no potencial de mercado e nas diversas aplicações que o GN tem neste e em outros parques fabris. Sendo assim, este artigo apresenta os dados levantados, discute-os e propõe sugestões para sua continuidade.

Palavras-Chave: Gás Natural; Fundição; Tratamento Térmico; Eficiência Energética, Consumo

Abstract – It was studied the major role of Natural Gas (NG) as an energetic resource in segments of metallurgical industry, as for example, manufacturing of sand molds, ovens for thermal treatment and, also, ovens for melting metals as aluminum. Its main goal was the economic viability study, done by means of collecting data on consume of gas, energetic efficiency and productivity. Its importance is due to the natural gas potential application and market. Nonetheless, this article presents results, discusses them and proposes continuity to it.

Keywords: Natural Gas, Foundry, Thermal Treatment, Energetic Efficiency, Consumption

1. Introdução

A indústria metalúrgica é um dos setores econômicos nacional que sofre com a falta de informações quantitativas sobre o uso do gás natural (GN) em suas dependências, principalmente no que diz respeito à comparação com outros combustíveis tradicionais como o óleo diesel e o gás liquefeito de petróleo (GLP). Portanto, este trabalho, tentando minimizar esta lacuna de conhecimento, foi dividido em 4 grandes partes correspondentes a diferentes setores da indústria de fundição que existe dentro da SOCIESC, que são o de aquecimento de painéis de vazamento de metal líquido, o de tratamento térmico, o de fusão de metais não ferrosos e o de produção de moldes e machos de areia.

Cada parte descrita aqui possuía como fonte de aquecimento ou GLP ou óleo diesel ou energia elétrica, e dados como consumo de combustível, eficiência térmica, consumo e custo energéticos foram obtidos antes e depois da implantação da rede de GN.

O consumo de GN foi realizado utilizando-se um medidor de vazão do tipo rotativo da marca Romet, classe G16 que permite medir fluxos de gás que variam entre 0,026m³ e 25 m³, e que permanecia montado em cavalette que continha, também, um medidor de pressão, de vazão e de temperatura pronto para ser instalado na tubulação quando necessário. O consumo dos outros recursos energéticos está descrito nas seções correspondentes a cada parte acima citada. Os cálculos realizados para consumo de energia (CE) levavam em conta o consumo (C), o poder calorífico inferior (PCI) do combustível e a densidade do combustível (ρ) através da equação $CE = C \times PCI \times \rho$. A eficiência térmica (ET) foi calculada conhecendo-se CE e a energia útil (EU), pois $ET = EU/CE$.

Portanto, este artigo está dividido por setor produtivo, onde apresenta-se os resultados comparativos, primeiro, do setor de aquecimento de painéis de vazamento, depois aqueles levantados para os fornos de cementação e têmpera, a seguir as informações sobre a fusão de alumínio e, finalmente, os resultados obtidos na modelagem de areia verde.

2. Aquecimento de Painéis de Vazamento

Em uma fundição, painel de vazamento é o recipiente utilizado para transportar o metal líquido, saído do forno de fusão, até o molde. Tipicamente, o metal encontra-se a temperaturas próximas a 1.500°C e para evitar perda de energia térmica e, conseqüentemente, de produtividade, a panela deve estar aquecida para transportá-lo. Inicialmente, antes da instalação da rede de gás natural, o aquecimento das painéis era feito utilizando-se 4 botijões de 45 kg de GLP ligados em série, que gerava diversos problemas inerentes a esta configuração. Primeiro, queda de pressão pela diminuição do conteúdo de gás no interior do cilindro, também, congelamento do gás quando exposto à pressão atmosférica e, finalmente, questões referentes a abastecimento.

Este trabalho consistiu em estudar e comparar o consumo, a eficiência térmica e os custos relativos do aquecimento feito através da queima de GN e de GLP. O consumo de GLP foi obtido em unidades de massa, através da pesagem dos botijões antes e depois do processo de aquecimento. De forma simplificada, os resultados que descrevem as diferenças entre os dois sistemas estão mostrados na tabela 1. Onde pode-se observar que a eficiência térmica, independentemente do combustível, é muito baixa, inferior a 10%. Isto deve-se ao fato de que durante o aquecimento das painéis uma quantidade grande de energia térmica é transferida para o meio ambiente na forma de calor, tanto através da boca quanto através da irradiação pelas paredes da panela. A diferença no uso dos combustíveis aparece no tempo para aquecê-las, 15 minutos com GLP e 18 minutos com GN. Para efeito do cálculo de produtividade, pode-se dizer que o sistema com GLP é 20% mais produtivo, que em outras palavras significa que no intervalo de tempo em que se aquece 6 painéis com GLP “apenas” 5 são aquecidos com GN.

Tabela 1: comparação entre os resultados obtidos por GLP e GN no sistema de aquecimentos de painéis de vazamento.

	GLP	GN	Relação GLP/GN
Consumo de combustível	3,41 m ³ /hora	7,92 m ³ /h	0,43
Custo econômico / aquecimento	R\$5,29	R\$1,664	3,17
Consumo energético / aquecimento	21045 kcal	22345 kcal	0,94
Eficiência térmica	9,4%	8,8%	1,07

Fazendo uma análise global da tabela 1, pode-se dizer que apesar do sistema com GLP consumir menos, ser ligeiramente mais eficiente termicamente com menor consumo energético, seu custo é 3,17 vezes superior ao do GN.

3. Fornos de Tratamento Térmico

O processo de tratamento térmico compreende operações de aquecimento e resfriamento de aços e tem por objetivo alterar suas propriedades físicas, mais particularmente suas propriedades mecânicas. Atualmente, os níveis de exigência da indústria metal-mecânica fazem com que as características das peças tenham requisitos cada vez mais estreitos de qualidade, e que estão relacionados, principalmente, com uma estrutura isenta de tensões e compatível com

os esforços previstos. O sucesso no tratamento térmico depende de um rigoroso controle de taxas de aquecimento e resfriamento, além do controle de tempo de permanência das peças em condições de alta temperatura.

Neste setor produtivo em questão, o GN substituiu resistências elétricas de carvão de silício de fornos de cementação, e substituiu o óleo diesel utilizado nos fornos de têmpera, e a análise de consumo foi realizada para duas condições diferentes de operação dos fornos, durante o aquecimento após a entrada de peças e durante a manutenção da temperatura.

Os resultados desta seção estão mostrados, separadamente, para os fornos de cementação (item 3.1) e de têmpera (item 3.2).

3.1 Fornos de cementação

O processo termoquímico de cementação utiliza sais fundidos a altas temperaturas para o tratamento térmico de aços. O objetivo é criar uma camada superficial com dureza mais elevada do que o restante da peça através da incorporação de carbono, proveniente de um sal fundido, em sua estrutura (KRAUSS e TOTTEN). A cementação deve ser realizada a temperaturas que coloquem o aço em estado austenítico, geralmente entre 900°C e 950°C, que é quando a difusão de carbono através de sua estrutura atômica ocorre com maior facilidade. É fundamental um rigoroso controle de temperatura em todas as etapas do processo para garantir que a superfície tratada alcance a espessura e as propriedades desejadas.

Portanto, a tabela 2 mostra os resultados de consumo em kWh e Nm³ para o forno elétrico e para o forno a GN, respectivamente, em 2 dois regimes diferentes de operação. O primeiro chamado de manutenção, que acontece durante 80% do período de funcionamento dos fornos, e significa que a fonte de energia cede calor apenas para manter o banho de sal fundido à temperatura de operação. Enquanto, o 2º regime, chamado de aquecimento, acontece apenas quando as peças a serem tratadas são colocadas no forno, fazendo diminuir sua temperatura e fazendo com que as fontes de calor operem em condição de máxima potência para fornecer a energia necessária para alcançar a temperatura base no menor período possível.

Tabela 2: comparação entre os resultados obtidos com energia elétrica e GN nos fornos de cementação

	Energia Elétrica		GN	
	Manutenção	Aquecimento	Manutenção	Aquecimento
Consumo	28,11 kWh	65,99 kWh	4,8 Nm ³	14,1 Nm ³
Consumo energético em kJ	101.196	237.564	182.880	537.234
Custo do combustível	R\$7,87	R\$18,48	R\$3,36	R\$9,87
Eficiência térmica	57%		78%	

Sendo assim, pode-se observar pela tabela 2 que o forno elétrico consome menos energia para aquecer o banho do que o forno a GN. Este resultado deve-se à concepção dos fornos, pois enquanto no elétrico as resistências estão localizadas a poucos centímetros do cadinho, no forno a GN o espaço existente entre o cadinho e a manta isolante é de 20 cm, requerendo um maior consumo de combustível para alcançar as mesmas temperaturas. Porém, o forno a GN é mais eficiente termicamente porque pode utilizar parte dos gases de exaustão para pré-aquecer as peças de aço que serão tratadas termicamente.

Porém, mesmo consumindo mais energeticamente, a utilização do GN levou a uma redução de custos com recursos energéticos de 57% para o regime de manutenção e de 47% para o de aquecimento. E isto deve-se a diferença de valor existente entre o kWh e o Nm³.

3.2 Fornos de têmpera

A têmpera é indiscutivelmente o tratamento térmico mais importante dos aços, principalmente quando se fala em aços ferramentas. A velocidade de aquecimento do banho de sal deve ser criteriosa, obedecendo as rampas ou escalonamentos de forma a minimizar os inconvenientes de distorções devido a gradientes térmicos. O resfriamento deve ser rápido, para os quais geralmente se empregam meios líquidos. Os aços após sofrerem o processo de têmpera adquirem tensões internas elevadas devido as alterações microestruturais que levam ao aumento da dureza, da resistência ao desgaste e da resistência a tração. Em contrapartida, a ductilidade e tenacidade do aço tratado sofrem apreciável redução e um segundo processo, chamado revenido, deve ser seguido para corrigir os inconvenientes causados por estas altas tensões (THELNING). O revenido altera a estrutura obtida na têmpera, aumentando os valores de ductilidade e reduzindo os valores de dureza e resistência a tração, ao mesmo tempo que as tensões internas são aliviadas ou eliminadas (HEAT TREATERS Guide).

Para este sistema, o levantamento de dados e os cálculos, também, foram realizados nos dois regimes de operação descritos no item 3.1. O combustível em avaliação neste processo é o óleo diesel, que tem poder calorífico (PCI) equivalente ao do GN, porém mais poluente. Para medir o volume de diesel consumido instalou-se um medidor de vazão tipo rotâmetro imediatamente antes do queimador.

Os resultados encontram-se descritos na tabela 3 e mostram que o forno que utiliza GN consome menos energia, apesar do PCI equivalente dos combustíveis. A explicação encontra-se na concepção dos fornos. Pois,

enquanto o forno a óleo diesel usa tijolo refratário como isolante, o forno a GN utiliza manta cerâmica, muito mais eficiente do ponto de vista do isolamento térmico necessário entre as paredes do forno e o meio ambiente que o circunda.

Tabela 3: comparação entre os resultados obtidos com GN e óleo diesel dos fornos de têmpera.

	Óleo diesel		GN	
	Manutenção	Aquecimento	Manutenção	Aquecimento
Consumo	8,07 litros	13,4 litros	6,05 nm ³ /hora	11,5 nm ³ /hora
Consumo energético em kJ	307.481	510.563	238.058	452.507
custo do combustível	R\$10,88	R\$18,06	R\$5,97	R\$11,35
eficiência térmica	48%		57%	

Pode-se notar ainda da tabela 3 que o forno a GN é, aproximadamente, 20% mais eficiente com um custo, entre 37% e 45%, menor do que o forno a óleo diesel.

4. Fornos de Fusão de metais não ferrosos - alumínio

Fundição é um processo de fabricação em que um metal completamente fundido é vazado na cavidade de um molde projetado com o formato desejado. As fundições de ligas não ferrosas (alumínio, cobre, etc.) normalmente utilizam fornos com aquecimento a óleo (bpf ou diesel) para o processo de fusão, uma vez que os pontos de fusão destas ligas são baixos e os custos operacionais e de manutenção são atrativos.

Neste processo, como nos anteriores, foram avaliados consumo de combustíveis e de energético, custos e eficiência térmica, e o metal escolhido para ser fundido foi o alumínio em virtude de seu amplo espectro de aplicação.

Os resultados, ilustrados na tabela 4 mostram que para a 1ª fusão de alumínio (alumínio 1), realizada a partir da temperatura ambiente, os consumos energéticos do forno a óleo e do forno a GN são equivalentes, pois ambos partem da temperatura ambiente. Porém, no caso da 2ª fusão (alumínio 2), onde o forno começou a operar a alta temperatura, o forno a GN é mais econômico, e como no forno de têmpera descrito no item 3.2, isto deve-se ao seu próprio projeto de construção, que utilizou manta cerâmica para o caso do GN e tijolo refratário para o caso do óleo diesel.

Pode-se ainda observar que utilizar GN diminui os custos com o combustível de 50% a até 70%. Também, que o forno a GN pode alcançar uma eficiência térmica ~ 80% superior ao forno a óleo diesel, apesar de ambos serem energeticamente pouco eficientes.

Tabela 4: comparação entre os resultados obtidos com óleo diesel e GN no processo de fusão de alumínio.

	Óleo diesel		GN	
	Alumínio 1	Alumínio 2	Alumínio 1	Alumínio 2
Consumo	17,1 litros	12,9 litros	16,96 Nm ³	8,09 Nm ³
Consumo energético em kJ	655.607	494.580	667.349	318.329
custo do combustível	R\$23,05	R\$17,39	R\$16,74	R\$7,98
eficiência térmica	8%	10,9%	9,1%	17,6%

5. Sistemas de moldes e machos shell

Um dos processos de produção de machos e moldes existente na indústria de fundição é conhecido como “processo shell”, que consiste no aquecimento de uma mistura de areia e resina superposta ao ferramental. A vantagem deste processo, além do baixo custo da matéria prima, deve-se ao bom acabamento superficial e à precisão dimensional do produto acabado (BERNDT e ASM Handbook).

Antes da instalação da rede de gás natural, este processo de fabricação de machos e moldes de areia era feito utilizando-se GLP encapsulado em botijões de 45 kg. Sendo assim, para este setor o objetivo principal estava calcado na avaliação do custo-benefício da aplicação de gás natural em substituição ao GLP para produção de machos e moldes de fundição. Aqui, também, foram levantados dados de consumo, custos e eficiência.

A tabela 5 nos mostra que o custo do combustível para produzir moldes de areia “Shell” com GN chega a ser 10 vezes inferior do que o custo com GLP, apesar de ser 37% menos eficiente termicamente. Quanto à produção de machos, ambos os sistemas são extremamente ineficientes, porém os custos com GLP são 3,4 vezes maiores. A alta ineficiência deve-se a própria máquina de fabricação que não utiliza nenhum tipo de isolante térmico entre o sistema e o meio ambiente, propiciando uma eficiente troca de calor.

Tabela 5: Comparação entre os resultados obtidos com GLP e GN.

	GLP		GN	
	Moldes	Machos	Moldes	Machos
Consumo	0,035 kg / kg de areia	0,051 kg / kg de areia	0,011Nm ³ / kg de areia	0,045 Nm ³ /kg de areia
custo do combustível	R\$0,10/kg de areia	R\$0,15/ kg de areia	R\$0,010/kg de areia	R\$0,044/kg de areia
Consumo energético em kJ	763.426	84.825	161.328	39.348
eficiência térmica	1,9%	1,3%	7,9	1,8
Produtividade em kg de areia por minuto	2,67 kg/min	0,35 kg/min	2,65 kg/min	0,74 kg/min

6. Conclusões

Em todos os casos, sem exceção, a utilização de GN implica em menores custos com combustíveis, chegando a ser 10 vezes mais barato do que GLP no processo de fabricação de moldes de areia Shell.

A eficiência térmica de quase todos os sistemas investigados é muito baixa (exceto fornos de cementação), sendo menor ou igual a 2% na fabricação de machos de areia. Estes resultados mostram a necessidade de se rever cada processo, da concepção dos equipamentos utilizados até a forma com a qual o operador executa seu trabalho.

Benefícios secundários, e algumas vezes difíceis de capitalizar, surgiram durante a execução. Por exemplo, abastecimento por uma rede estável, sem variação de pressão; diminuição da emissão de gases poluentes provenientes da queima de óleo diesel e a extinção de trocas e regulagens de botijões de GLP.

É importante comentar que dos quatro sistemas descritos acima, aqueles que utilizavam GLP não promoveram nenhum custo e não requereram nenhum tipo de adaptação para a troca do combustível.

Nos casos dos fornos de fusão de não ferrosos e de tratamento térmico (TT), o custo principal deve-se ao queimador, que é dimensionado conforme o tamanho do forno. Neste projeto ainda foram trocados os isolamentos, onde antes utilizava-se tijolo refratário hoje utiliza-se manta cerâmica. Para os fornos de TT observou-se um aumento na eficiência térmica em virtude, também, do uso de um melhor isolamento. Porém, no que diz respeito ao forno de fusão, a manta cerâmica é aplicável para a fusão de alumínio ou metais e ligas com temperaturas de fusão menores ou iguais a T=800°C, caso contrário recomenda-se manter o revestimento com tijolos ou massa refratária.

Durante a execução deste trabalho diversas questões foram levantadas com o objetivo de otimizar os processos que utilizam o GN como combustível. Algumas delas tiveram resposta imediata e outras foram deixadas para um segundo momento, em virtude da extensão e abrangência de sua realização. Portanto, fica como sugestão para a continuidade deste projeto os seguintes pontos:

- 1º. Construção de uma câmara de aquecimento para duas placas pequenas de vazamento de metal líquido e o desenvolvimento de seus queimadores, tendo como objetivo diminuir ainda mais os custos com o combustível aumentando a eficiência do processo.
- 2º. Otimização energética dos processos de macharia e de fabricação de moldes “Shell”.

7. Agradecimentos

O presente projeto foi realizado com recursos de projetos de pesquisa aprovados no âmbito da REDEGASENERGIA - Rede de Excelência do Gás e Energia, envolvendo as empresas parceiras: Petróleo Brasileiro S.A – PETROBRAS S.A., Companhia de Gás de Santa Catarina - SCGÁS, Transportadora do Gasoduto Bolívia-Brasil - TBG e FINEP/CTPETRO.

8. Referências

HEAT TREATER'S GUIDE – 2nd edition, ASM International

THELNING, K.E. Steel and Its Heat Treatment, 2nd ed.– Butterworth & Co. 1984

KRAUSS, G. Principles of Heat Treatment of Steel– American Society for Metals, Metals Park, Ohio 1980

TOTTEN, G. E., DEKKER, M. Steel Heat Treatment Handbook, ed. By, Inc. New York, New York 1997

ASM Handbook, 1999.

BERNDT, Heinz Processo Shell: Materiais e Tecnologia. 1ª Edição – São Paulo, ed. Abifa, 1989. Tradução de Max Hermann et al.