

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo energético da troca um de sistema de secagem de porcelana indireto a lenha para secagem direta a gás natural.

AUTORES:

Renato Oba, Talita Sauter Possamai, Vicente de Paulo Nicolau

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina, LabCet – Departamento de Engenharia Mecânica

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

Estudo energético da troca um de sistema de secagem de porcelana indireto a lenha para secagem direta a gás natural.

Abstract

A drying system for white porcelain with indirect heat transfer fueled by firewood and using steam as intermediary fluid is analyzed from the energy standpoint. The analysis is performed based on experimental data collected during the real process. Data indicate low energy efficiency, mainly due to using an intermediate fluid to supply energy to heat the drying air. Based on the energy values required for the real process, a theoretical drying system with direct heat transfer using natural gas as fuel is presented and discussed, focusing in economic viability and carbon emissions.

Introdução

Visando uma maior eficiência energética assim como a diminuição das emissões de carbono, um sistema de secagem de porcelana utilizando uma caldeira à lenha a fim de gerar vapor é analisado. O objetivo é determinar se a troca por um sistema de secagem utilizando diretamente gases quentes oriundos da combustão de gás natural e ar ambiente é, do ponto de vista energético, viável.

Uma metodologia de medições em campo é aplicada ao sistema de secagem a lenha, levantando dados referentes a vazões e temperaturas necessários em pontos específicos do sistema para o cálculo de energia despendida nos diversos pontos do sistema. Por último, é apresentado um sistema teórico a gás natural com secagem direta da porcelana através dos gases da combustão e comparado com o sistema a lenha. Dados como consumo de gás natural são estimados com base nos valores de energia medidos experimentalmente.

Metodologia

A figura 1 traz o esquema de funcionamento do sistema de secagem indireta analisado.

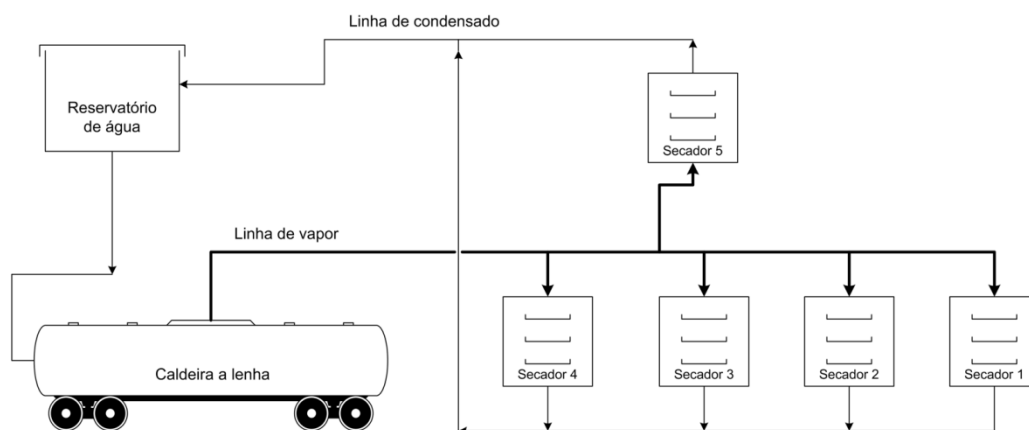


Figura 1 – Esquema de sistema de secagem indireta a vapor.

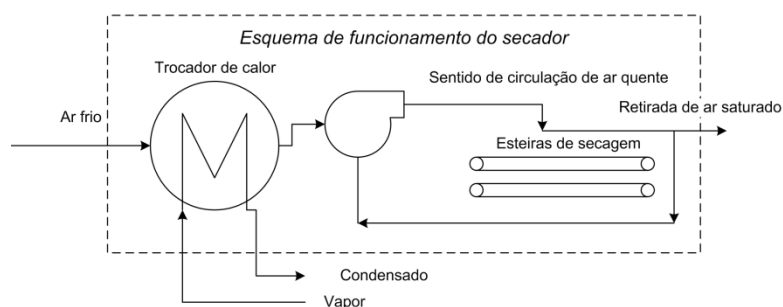


Figura 2 – Esquema de funcionamento de uma unidade de secagem.

Lenha é queimada na caldeira alimentada a partir de um reservatório de água, produzindo vapor. O mesmo é transportado através de uma tubulação principal de aço, isolada com lã de vidro até a ramificação de unidades de secagem, divididas por quantidade e tipo de produto. São seis unidades ao todo. Dentro de cada unidade um trocador de calor por serpentina é responsável pela troca de energia entre o vapor e ar ambiente, como apresentado na figura 2. Após a troca de energia, água condensada retorna para uma tubulação de condensado principal que coleta a água de todas as unidades e a retorna ao reservatório da caldeira. O ciclo de operação não é contínuo, sendo operado por bateladas, quando a temperatura do ar de secagem cai abaixo de um valor pré-determinado. Cada secador é diferente em sua concepção, utilizando mais ou menos energia de acordo com a peça trabalhada.

Para a obtenção do consumo de energia em cada secador, três abordagens foram adotadas, sendo realizadas as seguintes avaliações:

- a - Taxa de energia liberada pela linha de vapor em cada equipamento;
- b - Taxa de energia adquirida pelo ar de secagem ao passar pelo trocador de calor;
- c – Taxa de liberação de água no processo de secagem.

No caso da 1ª avaliação, procurou-se medir o fluxo de massa de condensado após a passagem pelo trocador de calor. O vapor saturado é admitido praticamente na condição de saturação, muda de fase e deixa o trocador como líquido. Um purgador controla a saída do condensado. A medição foi realizada na linha de condensado usando um medidor de vazão ultrassônico, modelo Eesiflo 6000 series flowmeter. Este medidor possui dois cabeçotes que são instalados no exterior da tubulação defasados de uma distância específica, conforme o diâmetro e a espessura de parede. Esta é determinada por um outro cabeçote. O valor da velocidade é obtido com base no tempo de trânsito da onda entre os dois cabeçotes. Um outro dado necessário consiste nas temperaturas de entrada do vapor e de saída do condensado. Estes valores foram obtidos com termopares montados junto à superfície das tubulações, com isolamentos aplicados sobre os mesmos. Para avaliar o estado do vapor, foi instalado um manômetro em uma abertura da linha próxima ao secador 4, no único ponto disponível longe da caldeira.

Na 2ª abordagem se avaliou o ganho de energia pelo ar de secagem no trocador de calor. Para tal foi necessária a medição de velocidades e temperaturas no local. Houve uma grande dificuldade na execução destas medições pois os sistemas de ventilação são bastante compactos, não havendo duto para tal. Para as velocidades foram escolhidos os pontos mais adequados, dentro das seções de escoamento, antes ou depois dos trocadores, conforme o caso mais propício. No caso de velocidades maiores foi possível usar um tubo de Pitot, associado a um micromanômetro de álcool (marca Lambrecht) e mapear a seção de escoamento logo após o ventilador, colocado depois do trocador. Para

os fluxos menores, de baixa velocidade, usou-se anemômetros de ventoinha ou anemômetros térmicos (baseados em termistores). Estes anemômetros são de marca Testo, modelo 445. Para medição de temperaturas antes e depois de cada trocador, foram usados termopares com indicadores de marca Omega, modelo HH23.

Para a 3ª avaliação, buscou-se dados sobre o processo de secagem, coletando-se a massa de água evaporada de cada peça, obtida pela diferença entre a massa antes e depois do processo, a temperatura de secagem e a taxa de produção. Sendo um método bastante simples, permite apenas estimar o consumo mínimo de energia, sem considerar as perdas do conjunto do processo.

Para delimitar o fluxo total de energia consumida no processo de produção e distribuição de vapor, foram tomados dados e feitas medições na caldeira e na linha de distribuição de vapor, com as seguintes abordagens:

a – Avaliação do consumo de lenha, com estimativa de suas propriedades para o cálculo da energia liberada na caldeira;

b – Avaliação do fluxo de condensado na linha de retorno para a caldeira, usando o medidor ultrassônico e termopares para medição de temperatura;

c – Avaliação do fluxo de condensado na caixa d'água de retorno, situada sobre a caldeira.

Resultados e Discussão

Perdas nas tubulações da linha principal de vapor

Uma análise no reservatório de água, que alimenta a bomba de injeção na caldeira, foi realizada. Essa bomba funciona apenas em pequenos intervalos de tempo, ficando desligada em períodos maiores e sua vazão não pode ser medida pelo método ultrassônico. A caixa também é alimentada com água da rede externa, sendo isolada no momento dos testes. Assim, coletou-se o condensado durante certos intervalos de tempo, antes da ligação da bomba da caldeira. Os resultados estão apresentados na tabela 1. Foi estimada uma taxa de energia de cerca de 610 kW despendida pelo vapor do ponto inicial da linha, logo após a caldeira, e o final, na entrada do reservatório de água.

Tab. 1 – Taxa de energia considerando o retorno de condensado à caldeira.

Vazão média	16,2	[litros/min]
Pressão na linha de vapor	9,1	kgf/cm ²
Temperatura aproximada da água	70	°C
Temperatura tubulação principal de vapor	150	°C
Temperatura tubulação de condensado	102	°C
Volume específico	0,00102	[m ³ /kg]
Fluxo de massa de água	0,263	kg/s
Entalpia vapor saturado - linha vapor	2.746	kJ/kg
Entalpia líquido saturado - linha condensado	427,5	kJ/kg
Variação da entalpia	2.319	kJ/kg
Taxa de energia associada ao vapor	610,4	kW

Energia consumida nos secadores

Na tabela 2 são apresentados os valores de consumo de energia térmica pelos secadores. Em alguns a avaliação foi mais abrangente, em outros foi mais restrita, devido a impossibilidades da geometria apresentada pelos mesmos.

O secador 1 apresenta o maior consumo, considerando a taxa de energia de aquecimento do ar, de 148 kW. O cálculo da parte da secagem (energia para a evaporação da água) mostra um valor baixo, indicando um equipamento de elevada perda térmica. Os secadores 3 e 4 possuem uma capacidade de processamento de massa maior que o 1, quase o dobro, segundo as informações de operação da empresa. Seus consumos, entretanto, estão subestimados, pois durante o levantamento estavam sendo processadas peças de pequeno tamanho, abaixo da produção padrão com peças maiores. Assim para uma estimativa mais conservadora, os valores medidos foram corrigidos com base na produção padrão estimada com relação à produção no momento do levantamento de dados. Os valores estimados para produção padrão também estão apresentados na tabela 2.

Estes valores representam uma estimativa com incertezas feita dentro das possibilidades apresentadas pelos equipamentos e pela instalação. Além das dificuldades de medição inerentes aos próprios equipamentos, bem como ao tempo de uso dos mesmos, observa-se que os valores são alterados pela própria alteração de produção de cada máquina, com lotes de peças de diferentes tamanhos e forma se sucedendo na programação definida pela empresa.

Tab. 2 – Valores obtidos através dos diferentes processos de avaliação.

Taxa de energia associada [kW] /secador	1	2	3 ou 4	6
Fluxo de ar	148	47,0	48,0	17,7
Condensado	238		82,6	
Taxa de secagem	17,4	2,6	53,8	1,4
Produção [kg/hora]	208	64,4	410	89,0
Energia estimada para produção padrão	180	70	100	50
Energia total (todas as unidades)	400			
Energia cedida pelo vapor	610			
Perdas na linha	210			

Segundo a estimativa apresentada na tabela 2, cerca de 34 % da energia disponível na rede de vapor está sendo perdida no transporte de vapor e de condensado.

Avaliação na caldeira

A tabela 4 apresenta alguns dados de consumo e de produção da caldeira e o equivalente ao gás natural. O consumo de lenha foi obtido por informações cedidas pela empresa. O tipo de lenha foi observado no local e alguns dados foram estimados com base em (Bazzo, 1995), tomando-se uma lenha de melhor qualidade e baixo conteúdo de umidade. A tabela 3 apresenta a composição da lenha estimada neste estudo.

Para uma análise conservadora, foi tomada como energia total necessária ao processo a energia cedida pela lenha, 746 kW. É importante salientar que desta energia, apenas 610 kW são transportados a linha de secagem, dos quais 210 kW são perdidos no transporte do vapor e apenas 400 kW são úteis a secagem das peças. O sistema direto com gás natural diminui o tamanho da linha de

transporte, uma vez que pode ser instalado dentro da fábrica perto do ponto de utilização e evita a perda com trocas intermediárias como vapor-ar, não sendo este fator aqui considerado. Para suprir a energia de 746 kW, é estimado o consumo de 32.300 Nm³/mês de gás natural, ou 20.555 kg/mês.

Tabela 3 – Estimativa da composição da lenha (base seca).

Lenha seca	Composição molar
Carbono	48,2 %
Hidrogênio	6 %
Oxigênio	44 %
Nitrogênio	0,5 %
Cinzas	1,3 %

Tab. 4 – Dados relativos à caldeira: consumo de lenha e equivalente em gás natural.

Lenha	Consumo mensal	75.400 kg/mês
	Umidade considerada	0,2 %
	Densidade a seco	400 kg/m ³
	PCI	13.420 kJ/kg
	Energia fornecida	746 kW
	Emissão de CO ₂ teórico	132.700 kg/mês
Gás natural	Consumo mensal	20.555 kg/mês
	Massa específica	0,636 kg/m ³
	PCI	49220 kJ/kg
	Emissão de CO ₂ teórico	56.530 kg/mês

Estima-se que o custo do gás natural em termos de R\$/kW seja superior ao da lenha, e possa chegar a até 3,0 vezes, considerando apenas o custo de aquisição e dependendo da tarifa do gás natural e da qualidade da lenha. Neste caso, não se considera o custo de manuseio e estocagem da lenha, o custo de operação e de manutenção da caldeira e das linhas de distribuição de vapor. Mesmo assim o sistema de secagem direta com gás natural se torna mais econômico, considerando o pior caso (caso conservador citado acima). Quando analisada a questão de emissão de carbono, tem-se que no sistema a gás a mesma é 2,3 vezes menor que no sistema a lenha.

Sistema a gás natural proposto

A figura 3 apresenta o esquema do sistema de secagem direta proposto, utilizando gás natural. Por apresentar uma potência total necessária baixa (400 kW) foi sugerido um queimador para alimentar toda a rede de secadores, colocado no início da linha de secagem. Uma recirculação de gases quentes não saturado é sugerida na linha principal a fim de obter um maior aproveitamento de energia. Entretanto, face às distâncias e as peculiaridades de cada secador, houve a opção por sistemas individuais para efeito de dimensionamento, deixando cada sistema com independência de operação. Em função das demandas que podem ser consideradas como demandas de baixa potência e pela aplicação em secagem, buscou-se no mercado um tipo de queimador adequado a tal situação. Trata-se de um queimador de duto, de baixa pressão. É instalado dentro do duto de passagem do ar de recirculação, mas utiliza o ar de renovação para a combustão. A mistura entre os gases de combustão e

o ar de recirculação ocorre imediatamente após a queima, diluindo os gases e baixando a temperatura do escoamento. A figura 4 apresenta o módulo e o núcleo do queimador, segundo catálogo do fornecedor (www.gastec.com.br). Neste caso o conjunto mostrado é colocado em posição transversal dentro do duto de escoamento. O ar de combustão é liberado no interior de uma caixa, por fora da estrutura em V, passa pelas perfurações e se mistura com o gás que é liberado no vértice da estrutura. Conforme se aumenta o volume da queima os furos maiores vão sendo usados progressivamente.

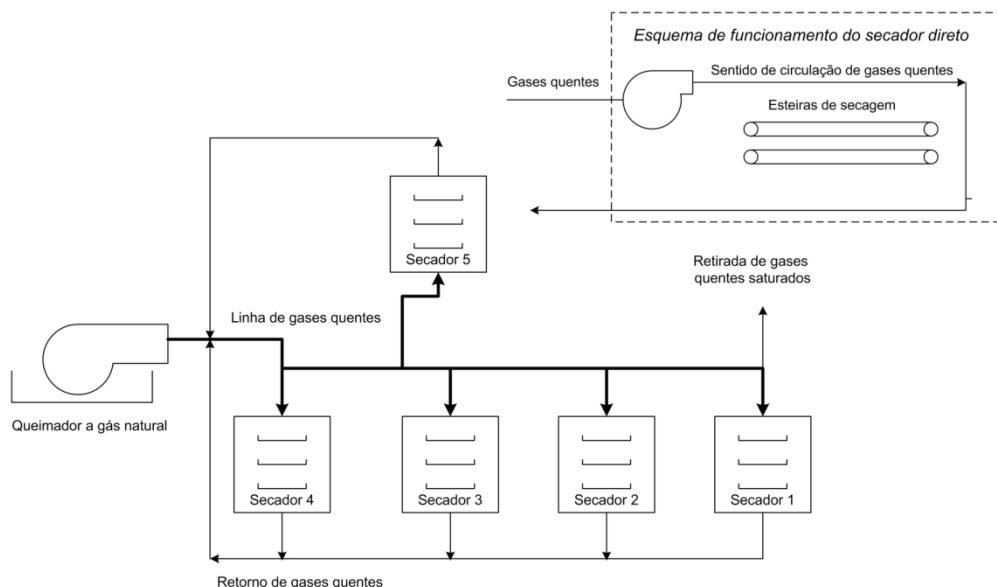


Figura 3 - Esquema de sistema de secagem direta a gás natural.

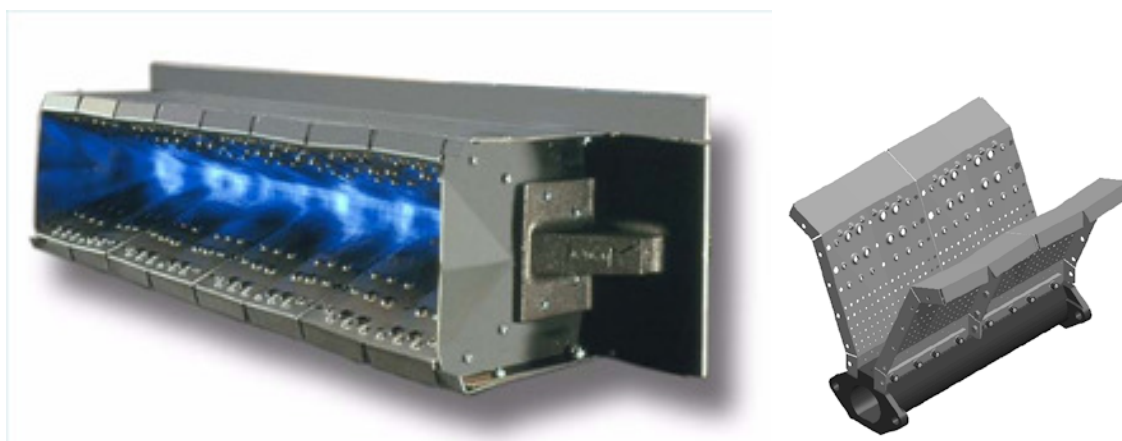


Figura 4 – Queimador de duto, de baixa pressão (www.gastec.com.br).

Conclusões

A análise realizada foi baseada em valores conservadores quando na avaliação da troca dos combustíveis, não considerando as vantagens em menor perda de energia que um sistema direto apresenta sobre um indireto, como menos meios físicos de perdas de energia. Sendo assim, os valores estimados para vazão e emissões de carbono para o sistema a gás natural estão superestimados, para a obtenção de uma margem de segurança. Mesmo assim, para o caso conservador, o sistema a gás natural se destaca na redução das emissões de carbono. Contudo, é importante salientar que não foi analisada a viabilidade econômica da implantação do sistema a gás, que inclui instalação de sistemas de controle e alimentação. Para tal é necessário realizar um estudo englobando todos os custos relacionados ao sistema, bem como a tarifas e outros custos relativos ao uso de lenha, caldeira e linha de distribuição de vapor, para se ter maiores informações sobre a viabilidade econômica a longo prazo.

Agradecimentos

Este estudo contou com o apoio financeiro da Companhia de Gás de Santa Catarina – SCGás. Os autores agradecem ao Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás Natural – PRH09 – ANP/MME/MCT e ao programa CAPES pelas bolsas de pesquisa.

Referências Bibliográficas

Bazzo, E., Geração de Vapor. Editora UFSC, 1995.

Queimadores de duto: www.gastec.com.br, consultada em julho de 2010.

Incropera, F.P. e De Witt, D.P.; Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa; Livros Técnicos e Científicos Ed., 5a ed., Rio de Janeiro, 2003.

Delmée, G. J.; Manual de Medição de Vazão; Edgard Blucher Ltda, 3ª ed., São Paulo, 2003.

Van Wylen G. J. and Sonntag, R. E.; Fundamentals of Classical Thermodynamics; John Wiley, 3rd Ed. New York, 1985.