

1º Seminário da Rede Gás & Energia

21 e 22 de novembro de 2006 - EDISE - Rio de Janeiro.

Coordenação: RH/Universidade Petrobras

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSITIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

Mantelli, M.B.H.¹, Angelo, W.², Milanez, F. H.³,

Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Mecânica - LABTUCAL

Campus Universitário - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88040-900

marcia@emc.ufsc.br¹, wagner@labtucal.ufsc.br², milanez@labtucal.ufsc.br³

RESUMO

Por força de contrato, o Gás Natural entregue a clientes deve estar em níveis de pressão e temperatura previamente estabelecidos. Assim aquecedores são utilizados em estações de descompressão e entrega de Gás Natural, ao longo de todo o território brasileiro. O aquecimento do gás a ser entregue é feito a partir da queima de uma pequena parcela do Gás Natural disponível nas estações. Os produtos da combustão percorrem um tubo mergulhado em água, aquecendo-a. O gás a ser entregue percorre tubulação mergulhada nesta água aquecida. Este processo apresenta uma série de ineficiências térmicas, tais como: alto nível de temperatura de escape dos gases de combustão na chaminé, mau aproveitamento energético do calor gerado pelos gases de combustão, grande inércia térmica, etc. Até pouco tempo atrás, estes equipamentos eram importados, porém hoje são fabricados no Brasil.

Neste trabalho propõe-se a utilização da tecnologia de tubos de calor e termossifões, para um melhor aproveitamento da energia disponibilizada para aquecimento do gás a ser entregue para o cliente. Diferentes concepções que usam a tecnologia de termossifões bifásicos são descritas. As vantagens e desvantagens de cada uma delas são discutidas.

Palavras-chave: Aquecimento de gás natural, Termossifão bifásico, Câmara de vapor.

ABSTRACT

Natural gas must be delivered to customers at pré-determined levels of pressure and temperature. Heaters are used in expansion and selling stations all over the Brazilian territory. The energy necessary to heat the gas is provided by burning the gas itself in proper equipment in these

stations. The exhaust gases flow through a liquid pool inside a cylindrical tank. The natural gas to be heated passes through a coil immersed in this hot water pool. This process is commonly used, but present several inconveniences, such as: high temperature level of the exhaust gases at the chimney output because of poor heat exchange in the hot gas chamber and large thermal inertia. These equipments have been made in Brazil only recently.

This work proposes the use of two phase thermosyphon technology for natural gas heating. The objective is to obtain more efficient equipments. Different conceptions that use the two-phase technology are described. Advantages and disadvantages are discussed

Keywords: Natural gas heating, Two-phase Thermosyphon, vapor chamber.

1. INTRODUÇÃO

Na cadeia de transporte do gás natural, as empresas transportadoras têm contratos com as empresas locais distribuidoras, sendo definido nestes contratos a pressão de entrega para o cliente. Como as pressões de transporte do gás são maiores que as pressões de entrega é necessário uma redução da pressão da linha de transporte, o que pode acarretar numa diminuição na temperatura do gás pelo efeito Joule-Tomson [1]. Dependendo da magnitude da redução de temperatura, podem surgir problemas como a fragilização dos materiais e também a formação de gelo e hidratos. Grande parte dos projetos das estações de entrega de gás natural contempla um sistema para aquecer o gás a montante da válvula reguladora de pressão, de modo a garantir uma faixa aceitável de temperaturas de entrega do gás. Segundo a Ref. [2] os sistemas de aquecimento representam aproximadamente 30% dos custos

1º Seminário da Rede Gás & Energia

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSISTIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

dos equipamentos componentes de um ponto de entrega. Estes sistemas de aquecimento são, na sua grande maioria, compostos de uma ou mais válvulas de três vias e de dois ou mais aquecedores indiretos de banho líquido.

A segurança, a confiabilidade e a autonomia são características primordiais na escolha de um equipamento para operar na indústria de transporte do gás natural. O aquecedor indireto por banho líquido, amplamente utilizado no Brasil e em vários países, tem estas três características como principais vantagens competitivas em relação aos seus possíveis substitutos. Sendo assim, é natural que historicamente tenha sido a primeira opção na escolha deste tipo de aquecedor.

Porém a crescente demanda da sociedade por uma maior racionalização do uso dos recursos não-renováveis e da preservação do meio ambiente remete a melhoria constante dos processos com vistas à diminuição do desperdício energético e de gastos desnecessários com equipamentos que exijam manutenção constante e apresentem elevado custo operacional. Com esta visão, se busca melhorar os aquecedores de gás natural quanto à eficiência energética, aos custos de aquisição, de manutenção e operação, sem detrimento da segurança, confiabilidade e autonomia do sistema.

A estratégia adotada para desenvolver um trocador substancialmente melhor que os aquecedores atuais consistiu basicamente em analisar os aquecedores de banho líquido e os aquecedores utilizados em aplicações semelhantes na indústria do gás natural. Determinar as vantagens e desvantagens de cada um, considerando o contexto onde estes equipamentos estão inseridos e explorar a tecnologia de termossifões bifásicos para possibilitar melhorias mais significativas.

A tecnologia de tubos de calor e termossifões, que é descrita em mais detalhes na seção 4, consiste na construção de um trocador indireto onde o fluido intermediário está saturado nas fases líquido e vapor. Como a troca térmica em meios com mudança de fase é geralmente a melhor possível, esta tecnologia é uma boa opção para este tipo de aquecedor.

O objetivo deste estudo é analisar os aquecedores tipo banho líquido, bem como as vantagens e desvantagens dos seus possíveis substitutos. Para determinar o potencial de melhoria deste equipamento com a aplicação da

tecnologia de termossifões bifásicos, sugere-se as diretrizes básicas para a fase inicial de síntese de um novo equipamento com esta tecnologia.

O artigo começa com uma descrição sucinta dos aquecedores de gás natural utilizados no Brasil, seguida da descrição das principais alterações no projeto dos aquecedores com as vantagens e as desvantagens de cada uma. Então é descrita a tecnologia de tubos de calor e termossifões e mostrado duas propostas de equipamentos: o equipamento com câmara de vapor e o equipamento com termossifões em circuito. Finalmente, são feitas considerações sobre algumas opções mais elaboradas e são sugeridas as diretrizes de projeto para o desenvolvimento de um novo equipamento de aquecimento de gás natural para *city-gates*.

1.1. AQUECEDOR UTILIZADO EM PONTOS DE ENTREGA

O aquecedor utilizado atualmente em pontos de entrega (*city-gates*) no Brasil são aquecedores indiretos de banho líquido e de acúmulo.

Um aquecedor indireto de banho líquido pode ser visto na Figura 1. Este tipo de aquecedor é composto por um vaso cilíndrico fechado na posição horizontal que envolve o tubo de chama, este tubo de chama está na parte inferior do cilindro. Acima do tubo de chama está a serpentina onde passa o gás a ser aquecido como mostra a Figura 2. Um conjunto de tubulações, válvulas e acessórios de controle do gás do queimador e um reservatório para manutenção do nível de água complementam o equipamento.

O queimador consome uma pequena parcela do gás transportado e opera intermitentemente ligando apenas quando a temperatura atinge um valor mínimo, desligando quando a temperatura atinge o valor máximo regulado, sendo que apenas a chama piloto permanece ligada continuamente. O tubo de chama tem a geometria de um “U” no plano horizontal, sendo que boa parte da primeira metade do tubo é ocupado pela chama, tornando esta primeira parte do tubo de chama equivalente a uma câmara de combustão. A segunda metade do tubo pode ser considerada como uma superfície de troca convectiva.

Na serpentina, que pode ser vista com mais detalhes na Figura 2, a parcela do gás

1º Seminário da Rede Gás & Energia

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSISTIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

direcionada pela válvula de três vias é aquecida, geralmente até uma temperatura próxima da temperatura do banho.



Figura 1. Foto de dois aquecedores de banho líquido, fonte: [3]

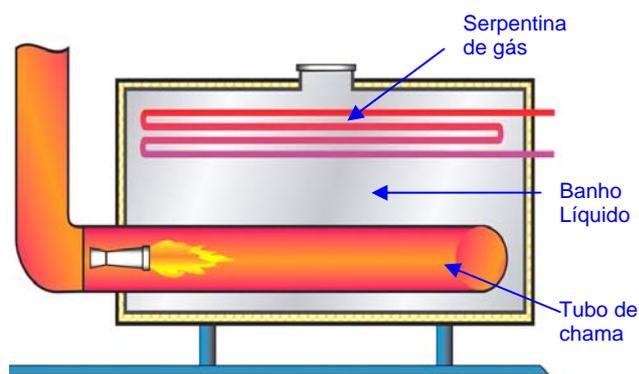


Figura 2. (a) Esquema de um aquecedor indireto de banho líquido, fonte da imagem: [4]

A água que banha tanto o tubo de chama como a serpentina de gás é mantida a aproximadamente 70°C através da potência fornecida pelo queimador. Os aquecedores de banho indireto utilizados no Brasil operam com o banho de água exposto a pressão atmosférica. De certa forma isto é vantajoso, pois o cilindro externo deixa de ser um vaso de pressão. Entretanto esta opção faz com que a água tenha que ser reposta

constantemente devido à evaporação pelo respiro do sistema. Vários fabricantes optam por fazer um vaso hermético incluindo um balão para a expansão do ar que está acima do nível de água. Este vaso para a expansão do ar pode ser visto na Figura 3.

Outra característica dos trocadores utilizados no Brasil é a opção pela exaustão dos gases através de convecção natural, ou seja, sem a utilização de ventiladores. Esta opção é vantajosa pela maior autonomia das baterias elétricas do sistema. As baterias servem apenas para suprir o sistema de controle, que tem consumo relativamente baixo se comparado a um ventilador. Entretanto, do ponto de vista de eficiência energética esta opção é bem restritiva como é exposto na seção 3.

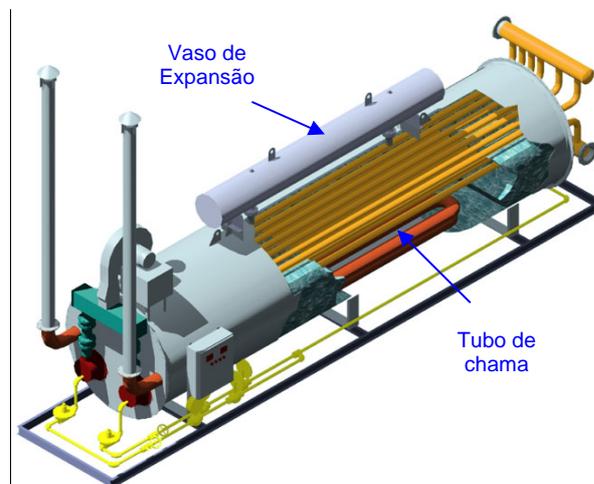


Figura 3. Vista isométrica de um aquecedor de banho líquido hermético com um vaso de expansão, fonte

Uma unidade típica de aquecimento de GN em *city-gates* é esquematicamente mostrada na Figura 4. O aquecedor é composto pelo queimador (6), tubo de chama (8) e pela serpentina de aquecimento do gás (7) é instalado a jusante de uma válvula de três vias (2) que controla a quantidade de gás que passa pelo aquecedor. A outra parcela do gás irá se misturar com o gás aquecido antes da válvula redutora de pressão (3). Nesta válvula a temperatura e a pressão do gás é usualmente reduzida para as condições de entrega

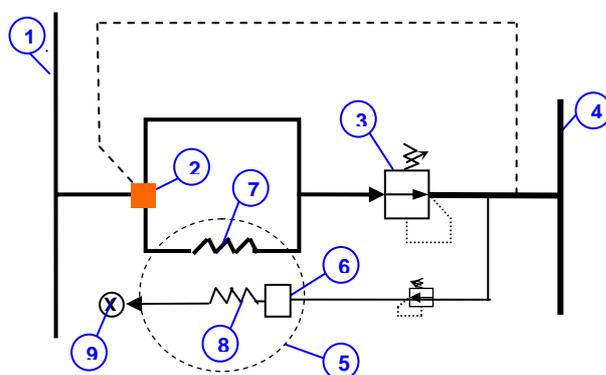
1º Seminário da Rede Gás & Energia

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSISTIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

para o cliente. Esta temperatura final do gás é que faz o controle da válvula de três vias citada anteriormente, para misturar os gases frios e quentes para se obter a combinação desejada.

2. OPÇÕES PARA MELHORAR OS AQUECEDORES DE CITY-GATE

Em uma análise térmica simplificada, estimou-se que a maior resistência térmica da troca de calor encontrada no equipamento está no lado dos gases de combustão, cujo calor gerado tem dificuldade de atingir a água do banho a ser aquecida. Esta resistência representa aproximadamente 77% da resistência térmica total, restando 13% para a troca interna dentro do banho de água quente e 10% para a troca na tubulação de gás. A efetividade do equipamento atual é na ordem de 0,35 e a eficiência estimada é por volta de 55%, para o sistema operando em condições ótimas.



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 Linha de alta pressão | 6 Queimador |
| 2 Válvula três vias proporcional | 7 Serpentina do gás de processo |
| 3 Válvula redutora de pressão | 8 Tubo de chama |
| 4 Linha de baixa pressão | 9 Chaminé |
| 5 Aquecedor | |

Figura 4. Esquema simplificado de uma unidade típica de aquecimento de GN em city-gates.

Comparando o aquecedor atualmente utilizado em pontos de entrega com outros

aquecedores indiretos de gás natural utilizados na indústria do gás, salienta-se algumas características chaves que culminam nas principais diferenças operacionais e de eficiência entre os equipamentos. As próximas seções descrevem em maiores detalhes estas outras opções: vaso hermético, convecção forçada nos gases de combustão e melhoria do coeficiente de convecção do fluido intermediário.

2.1. VASO HERMÉTICO

Os aquecedores onde o fluido intermediário está em uma câmara fechada para o ambiente consistem em equipamentos mais confiáveis e independentes, visto que o fluido intermediário é um componente definido no processo de fabricação e não exige a reposição constante deste fluido. Já os aquecedores abertos acabam tendo uma alta taxa de evaporação que culmina na necessidade de reposição da água do banho acarretando maiores custos operacionais, além da formação de incrustações que deterioram a eficiência térmica e do comprometimento a vida útil do aquecedor. Entretanto esta característica faz que exista uma diferença de pressão entre a atmosfera interna e a ambiente, caracterizando o cilindro externo como um vaso de pressão.

2.2. CONVECÇÃO FORÇADA NOS GASES DE COMBUSTÃO

O maior potencial de ganho de eficiência energética está na redução da resistência térmica da câmara de combustão que representa 77% da resistência térmica total do aquecedor segundo [2]. Sendo que esta modificação também melhora a qualidade ambiental da combustão. Entretanto esta opção implica na utilização de uma fonte de energia elétrica para movimentar um ventilador. Esta necessidade de energia da rede elétrica diminui a autonomia do sistema.

A utilização de uma “micro-turbina” a gás para a geração da potência de exaustão implica no desenvolvimento de um novo equipamento, visto que em uma breve busca no mercado não foi encontrado equipamento semelhante. Além disso o custo e a confiabilidade do sistema aumentaria significativamente.

1º Seminário da Rede Gás & Energia

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSISTIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

2.3. MELHORIA NO COEFICIENTE DE CONVECÇÃO NO FLUIDO INTERMEDIÁRIO

Segundo a Ref. [2], outro sistema utilizado em alguns países da Europa é o aquecimento utilizando aquecedores indiretos de passagem onde um trocador simples é utilizado para aquecer o gás natural com água aquecida, enquanto um outro trocador independente aquece a água com a combustão de parte do gás. Esta opção, mostrada na Fig. 5 tem um custo inferior aos aquecedores de banho líquido, porém exigem a existência de potencia elétrica para operar a bomba de circulação de água entre os dois reservatórios.

Uma das grandes vantagens deste aquecedor é que a geometria do trocador gases quentes-água pode ser desvinculada da geometria do trocador água-gás natural.



Fig. 5 Exemplo de aquecedor de passagem, com a potência fornecida pela queima de gás, fonte [2].

Outro tipo de equipamento que objetiva intensificar a troca de calor entre os gases quentes e o GN a ser aquecido é o que emprega a tecnologia de termossifões bifásicos. O Laboratório de Tubos de Calor-LABTUCAL da Universidade Federal de Santa Catarina vem desenvolvendo a tecnologia de tubos de calor há mais de uma década. Desde 2000 o LABTUCAL vem desenvolvendo equipamentos para a indústria do petróleo e gás com recursos do Cenpes-Petrobrás e da FINEP. A próxima seção descreve em maiores detalhes esta tecnologia.

3. TECNOLOGIA DE TUBOS DE CALOR E TERMOSSIFÕES BIFÁSICOS

Um tubo de calor consiste tipicamente em um tubo metálico com as extremidades seladas e com uma estrutura capilar junto à parede interna. Este tubo é evacuado e preenchido com um volume de fluido de trabalho suficiente para saturar por completo a estrutura capilar. Os termossifões bifásicos do tipo fechado são dispositivos semelhantes aos tubos de calor, diferenciando-se apenas pela ausência da estrutura capilar interna. O princípio de operação de tubos de calor e termossifões é bastante simples: calor é aplicado na região do evaporador (Fig. 6), que, conseqüentemente, evapora o fluido de trabalho localizado internamente. O vapor gerado se desloca para a região do condensador por diferença de pressão, onde o calor é retirado, liquefazendo-se. Em um tubo de calor, o retorno do líquido ao evaporador dá-se através de um meio poroso, por capilaridade, enquanto que em um termossifão dá-se pela ação da gravidade. Câmaras de vapor são termossifões onde a dimensão transversal do dispositivo é algumas vezes superior a sua altura.

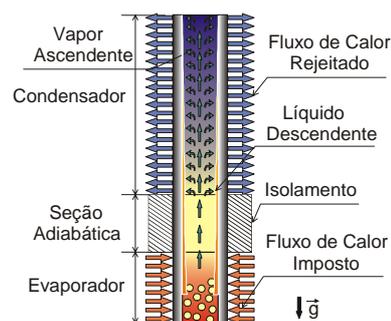


Fig. 6 Esquema de funcionamento de um termossifão bifásico

4. APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DE TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR PARA AQUECIMENTO DE GN

São duas as propostas para o desenvolvimento de um aquecedor com a tecnologia de termossifões bifásicos para *city-gate*. A primeira é a utilização de câmaras de vapor com

1º Seminário da Rede Gás & Energia

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSISTIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

uma geometria idêntica ao equipamento atual. Esta tecnologia já é utilizada na indústria do petróleo em diversas aplicações que necessitam de aquecimento indireto. A segunda é a construção de um aquecedor indireto com um termossifão em circuito, que fornece a mesma vantagem obtida nos aquecedores de passagem por convecção forçada.

4.1.1. AQUECEDORES TIPO CÂMARAS DE VAPOR



Fig. 7 Exemplo de aquecedor tipo câmara de vapor, extraído de [2].

Os aquecedores tipo câmara de vapor são geometricamente semelhantes aos aquecedores de banho líquido, porém nestes trocadores apenas o tubo de chama está imerso no banho, enquanto a serpentina fica envolvida por vapor saturado, o que implica que o líquido também esteja na condição de saturação. A característica de operação com o fluido intermediário na condição de saturação lhe confere as propriedades de troca térmica semelhantes a de um termossifão bifásico. A temperatura de operação destes aquecedores fica controlada pela pressão de saturação do fluido intermediário. Para a aplicação em aquecimento de gás natural este aquecedor pode operar a pressões menores que a pressão atmosférica. A vantagem deste aquecedor é que os coeficientes de troca térmica no fluido intermediário são geralmente maiores que os coeficientes no equipamento de banho líquido.

A segunda opção utiliza termossifões em circuito. Um termossifão em circuito consiste basicamente de um tubo em circuito fechado. A Fig. 8 apresenta um desenho esquemático do funcionamento do termossifão. Calor é adicionado na região chamada evaporador, que está localizado junto ao queimador de GN. O

evaporador está cheio de líquido, que evapora. O vapor escoar por diferença de pressão até o condensador, onde o calor é rejeitado. O vapor condensa nas paredes internas do tubo e o líquido escorre por ação da gravidade. Para evitar que haja fuga de calor pelas paredes do tubo entre o evaporador e o condensador, que provocaria condensação do líquido antes de ele chegar ao condensador, a tubulação é isolada termicamente. Como não existe variação de temperatura durante a mudança de fase, a diferença de temperatura entre evaporador e condensador é bastante baixa, o que significa uma baixa resistência térmica ao transporte de calor, que por sua vez significa alta eficiência. O termossifão em circuito é, portanto, um dispositivo de transporta o calor do evaporador para o condensador com alta eficiência.

O equipamento para aquecimento de GN com termossifões em circuito consiste de dois trocadores de calor independentes, tal como o aquecedor de passagem por convecção forçada. Porém ao invés de utilizar a convecção forçada de um fluido em única fase, utiliza-se a convecção natural com mudança de fase. A vantagem deste tipo de equipamento é a menor resistência térmica entre gases de combustão e GN a ser aquecido, já que durante a mudança de fase não há variação de temperatura.

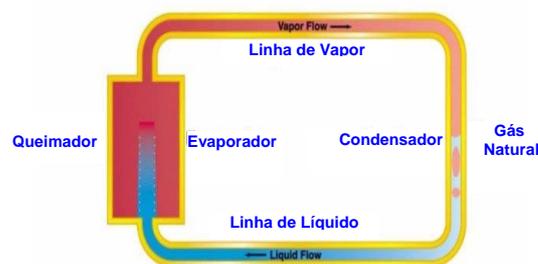


Fig. 8 Esquema de funcionamento de um termossifão em circuito

5. CONCLUSÃO

A utilização de aquecedores com a tecnologia de câmara de vapor e termossifões em circuito são aplicáveis em aquecedores de gás natural para *city-gates* tem potencial para a melhoria dos aquecedores quanto aos custos inicial, de operação e manutenção e com um ganho pequeno na eficiência energética. É necessária a

1º Seminário da Rede Gás & Energia

AQUECEDORES DE GN PARA CITY-GATES ASSISTIDOS POR TERMOSSIFÕES E CÂMARA DE VAPOR

continuidade destes estudos com o desenvolvimento de protótipos com as configurações propostas para se verificar experimentalmente as vantagens e desvantagens da aplicação desta nova tecnologia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Van Wylen, G. J., 1998. Fundamentos de Termodinâmica, Ed. Edgard Blücher, São Paulo.
- [2] Henrique1, R. R. et all, 2005 “Critério para aplicação e dimensionamento de aquecedores para pontos de entrega de gás”, Proceedings of the Rio Pipeline Conference & Exposition 2005.
- [3] Gascat, 2003, “Aquecedores por Chama Indireta, Catálogo contendo especificações técnicas da linha de aquecedores de gás natural da empresa. Gascat, Indústria e Comércio Ltda”.
- [4] Dveco Process Heater, “Indirect Heaters”, site <http://www.devcoheaters.com/indirect.htm>.
- [5] GTS Energy, Inc, 2006 site http://www.gtsenergy.com/products/bath_heaters_about.asp