

P29, Elaboração de manual de procedimentos para utilização racional de GN em caldeiras. Ciclo 2006/2007.

Renato Vergnhanini Filho

COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – Laboratório de Engenharia Térmica

Resumo – A equipe do Laboratório de Engenharia Térmica (LET) do IPT elaborou um Manual sobre o uso racional do gás natural (GN) em indústrias - entendendo-se como “racional” a queima em condições otimizadas de aproveitamento energético e de emissão de poluentes atmosféricos. Nas quase duzentas páginas do Manual são abordados temas como a teoria da combustão de gás e a formação de poluentes atmosféricos, tipos e características dos equipamentos de combustão, metodologias para cálculo do rendimento térmico, substituição do óleo combustível por gás natural, e instalação, operação e segurança de sistemas de combustão de gás. O projeto incluiu o treinamento do corpo técnico da Comgás para uso do Manual como material de apoio no atendimento aos clientes, e também a sua apresentação às indústrias através de seminários.

Palavras-chave: Manual sobre gás natural; rendimento térmico; poluentes atmosféricos; gás natural em caldeiras.

Introdução - Objetivo do projeto

Considerando que a conjuntura nacional e mundial é de uso eficiente de energia, seja por questões financeiras, ambientais ou estratégicas e que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) e os correspondentes órgãos estaduais tendem a tornar mais exigentes os requisitos relativos aos impactos ambientais, foi elaborado um Manual sobre o uso racional do gás natural em caldeiras que compreende, sobretudo, sua queima em condições otimizadas de aproveitamento energético e emissão de poluentes atmosféricos.

O Manual está particularmente voltado para os clientes típicos da Comgás nos segmentos industrial e comercial, ou seja, possuidores de geradores de vapor de pequeno porte - produção média de vapor de 1.400 kg/h, do tipo fogotubular, de dois ou três passes, com um único queimador instalado, e que não foram originalmente concebidos para a queima de gás natural, mas convertidos de GLP ou óleo combustível para gás natural.

O Manual, constituído de 195 páginas, divididas em oito capítulos e dois apêndices, será utilizado para treinamento da equipe técnica da Comgás e como material de apoio no atendimento aos seus clientes.

A expectativa com a realização do projeto foi contribuir para o conhecimento sobre o uso eficiente do gás natural e a formação de mão-de-obra preparada para a adoção de medidas de conservação de energia e de redução da poluição ambiental.

Desenvolvimento

Capítulo A: Gás natural

Neste capítulo introdutório são apresentadas informações gerais sobre o gás natural, tais como: definição, origem, composição, exploração, processamento, transporte, distribuição e utilização.

Capítulo B: Combustão de gases

Neste capítulo são apresentados aspectos teóricos da combustão de gases, tais como: estequiometria, poder calorífico, temperatura de chama adiabática, ignição, velocidade de chama, limites de inflamabilidade, e características e propriedades das chamas de gás. A Figura 1 mostra os parâmetros mais importantes da combustão.

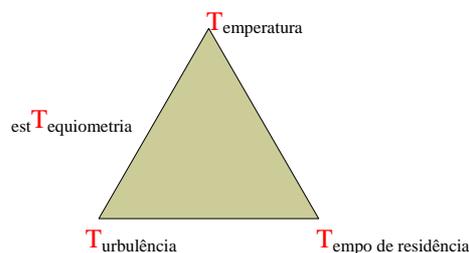


Figura 1 – Os três (quatro) T's da combustão

Capítulo C: Caldeiras fogotubulares

Este capítulo trata de equipamentos de combustão e seus periféricos (ventilador de ar, pré-aquecedores de ar e água, sistemas de controle de demanda e do excesso de ar de combustão, queimadores), com ênfase nas caldeiras fogotubulares (Figura 2), porque são as

preponderantes na área de concessão da Comgás.

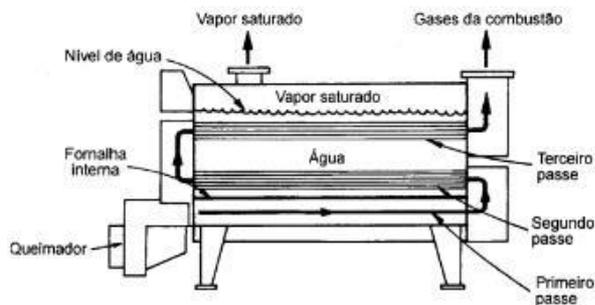


Figura 2 – Caldeira fogotubular

Capítulo D: Instalação, operação e segurança de sistemas de combustão

Neste capítulo são apresentados, basicamente, sistemas comerciais de combustão (“cavaletes de gás” - Figura 3) e de detecção de vazamento de gás natural, e a norma da ABNT (NBR 12313) que aborda aspectos de controle e segurança na queima de gases combustíveis.



Figura 3 – “Cavalete de gás”

Capítulo E: Rendimento térmico de caldeiras

Neste capítulo são apresentadas metodologias para o cálculo do rendimento térmico de caldeiras baseadas nas normas vigentes nos Estados Unidos (“ASME”) e Alemanha (“DIN”).

Capítulo F: Emissão de poluentes atmosféricos

Este capítulo trata da poluição atmosférica devido à queima de combustíveis, legislação ambiental, estratégias de controle das emissões atmosféricas (por exemplo, caldeira com recirculação externa de gases para a redução da formação de NO_x - Figura 4).

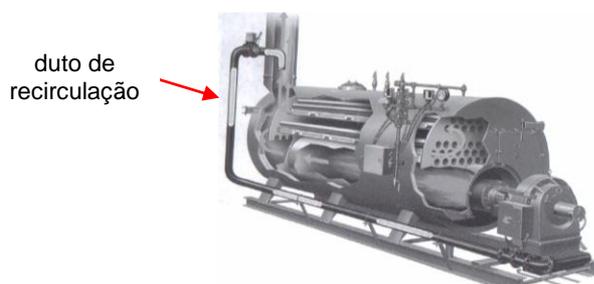


Figura 4 – Caldeira com recirculação de gases

O capítulo trata, também, da metodologia e instrumentação existentes para a medição dos poluentes resultantes da queima de combustível, em particular, do gás natural.

Capítulo G: Substituição de combustíveis

Os assuntos tratados neste capítulo são dispostos em três itens: introdução, substituição de GLP por gás natural e substituição de óleo combustível por gás natural. A Tabela 1 mostra a composição típica dos combustíveis mencionados.

Tabela 1 – Composição típica de combustíveis

	GN	GLP		Óleo combustível
	% volume			% massa
metano	89,0	-	carbono	89,0
etano	6,0	-	hidrogênio	9,4
propano	1,8	50,0	nitrogênio	0,8
butano	1,0	50,0	enxofre	0,8
dióxido de carbono	1,5	-		
nitrogênio	0,7	-		

As tabelas 2 e 3 apresentam uma análise comparativa entre óleo combustível e gás natural quanto às trocas de calor e a emissão de poluentes em uma caldeira, conforme fatores de emissão estabelecidos pela USEPA (United States Environmental Protection Agency).

Capítulo H: Redução do consumo de gás natural em caldeiras fogotubulares

Os assuntos tratados neste capítulo são dispostos em um único item: economia de gás natural, com destaque para o efeito estimado das condições operacionais da caldeira no seu consumo de combustível (Tabela 4).

Apêndice 1: Avaliação contínua do rendimento térmico de caldeiras - método simplificado

Neste apêndice é apresentado um método simples e direto de avaliação do rendimento de caldeiras.

Apêndice 2: Trocas de calor na fornalha de caldeiras fogotubulares

Neste apêndice é analisado o efeito de parâmetros operacionais de caldeiras fogotubulares (dimensões da caldeira, natureza e composição do combustível, relação ar/combustível, e temperatura do ar e do combustível) sobre a eficiência das trocas de calor entre os gases e as paredes da fornalha.

Tabela 2 – Trocas de calor em caldeira de 15 t/h de vapor na operação com óleo e com gás natural

Combustível	óleo	GN
Potência de operação (% plena carga)	100	100
Coefficiente de ar (ar / ar esteq.)	1,200	1,200
Temperatura do ar (K)	298	298
Potência total fornecida à câmara de combustão (kW)*	12384	12453
Vazão de combustível (kg/h)	1109,67	950,66
Teor de O ₂ dos gases (% b.s.)	3,65	3,82
Emissividade da mistura gasosa	0,920	0,182
Área global de troca de calor, GS ₁ R,C (m ²)	26,06	6,22
Temperatura de chama adiabática (K)	2108	2059
Carga reduzida de superfície, D'	0,486	2,258
Eficiência reduzida do tubulão, Q'	0,282	0,164
Eficiência da transferência de calor no tubulão, η _t	0,329	0,192
Potência fornecida à superfície do tubulão, Q _{g↔1} (kW)	4073	2393
Fração da potência útil transferida no tubulão (%)	36,5	21,5
Fração da potência útil transferida na zona de convecção (%)	63,5	78,5
Entalpia do fluxo de gases na saída tubulão (kW)	8311	10060
Temperatura dos gases à saída do tubulão (K)	1505	1739
Temperatura dos gases à saída da convecção (K)	508	512
Vazão de gases (kg/h)	19499	19552
Eficiência global da caldeira referida ao PCI do combustível (%)	90,0	89,5

* Inclui a entalpia sensível do ar, se pré-aquecido.

Tabela 3 – Emissões de poluentes atmosféricos na queima de óleo e gás natural

	óleo	GN
NO _x (mg/m ³ n b.s. 3 % de O ₂)	1074*	157
CO ₂ (gCO ₂ /Mcal base PCS potência "input")	323	216
SO _x (mg/m ³ n b.s. 3 % de O ₂)	1374**	~ 0
MP (mg/m ³ n b.s. 3 % de O ₂)	300-500	~ 0

* Para 0,8 % em massa de nitrogênio no óleo.

** Para 0,8 % em massa de enxofre no óleo.

Tabela 4 – Efeito estimado das condições operacionais da caldeira no seu consumo de gás natural

Ação	Redução estimada no consumo de gás natural de
1. Redução do excesso de ar de combustão (teor de O ₂ dos gases reduzido de 7 para 1 %)	até 4,5 %
2. Aumento da temperatura do ar de combustão (pré-aquecedor de ar)	1 % p/ cada 20 °C
3. Aumento da temperatura da água de alimentação (economizador, retorno de condensado)	1 % p/ cada 6 °C
4. Redução da temperatura dos gases na chaminé (temperatura reduzida de 250 para 130 °C)	até 8 %
5. Aumento da potência de operação da caldeira* (potência elevada de 50 para 100 % da nominal)	até 4,0 %
6. Redução do teor de CO dos gases de combustão (teor de CO dos gases reduzido de 1000 para 0 ppm)	0,3 %

* Para caldeiras de 1 a 15 t/h de vapor.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistemas de Combustão - Controle e Segurança para Utilização de Gases Combustíveis em Processos de Baixa e Alta Temperatura, NBR 12313, set. 2000.
- ASME - American Society of Mechanical Engineers. ASME PTC 4-1998: Fired Steam Generators. New York, 1999 (revision of ASME PTC 4.1 - 1964).
- Beér, J. M. Minimizing NO_x Emissions from Stationary Combustion; Reaction Engineering Methodology, Chemical Engineering Science, vol. 49, No. 24A, 1994.
- Caldeira, A. Especificação do Gás Natural - Em Busca da Evolução, Superintendência de Biocombustíveis e Qualidade de Produtos (SBQ), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), outubro 2007.
- Chigier, N. Energy, Combustion and Environment, McGraw-Hill, 1981.
- DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 1994-02: Acceptance Testing of Steam Generators. Berlin, 1996 (updated version of the DIN 1942).
- Gomide, R. Estequiometria Industrial, Editora da Universidade de São Paulo, 1968.
- Lawn, C.J. Principles of Combustion Engineering for Boilers, Academic Press, 1987.
- Pera, H. Geradores de Vapor: Um Compêndio sobre a Conversão de Energia com Vistas à Preservação da Ecologia, Editora Fama S/C Ltda., 2ª edição, 1990.
- Pinheiro, P.C.C. e Cerqueira, S.A.A.G. Método de Cálculo do Balanço Térmico de Caldeiras, XVII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, Volta Redonda-RJ, 26-28/09/1995.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, 5th edition; Volume I: Stationary Point and Area Sources; Chapter 1 - External Combustion Sources; 1.3 Fuel Oil Combustion (última revisão: 15/01/08).
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, 5th edition; Volume I: Stationary Point and Area Sources; Chapter 1 - External Combustion Sources; 1.4 Natural Gas Combustion (última revisão: 15/01/08).
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, 5th edition; Volume I: Stationary Point and Area Sources; Chapter 1 - External Combustion Sources; 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion (last revision: january 15, 2008).