

DIMENSIONAMENTO E MONTAGEM DE UMA UNIDADE PILOTO DE AR-PROPANADO

M.C.A. Aquino

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. aquinoufpe@yahoo.com.br

F.A. Lins

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. flavianylins@yahoo.com.br

R.V. Paulino

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. pqrmnt2@yahoo.com.br

S. Lucena

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. lucena@ufpe.br

N. Medeiros

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. lucena@ufpe.br

Resumo. Uma unidade piloto para estudos de gases combustíveis alternativos foi dimensionada e instalada no Departamento de Engenharia Química da UFPE com a finalidade de realizar testes de combustão e testes de mistura para verificar os melhores percentuais de ar e GLP que forneçam uma mistura (ar-propanado) com poder calorífico (11.660 kcal/nm^3) semelhante ao gás natural. Essa especificação é feita através do índice de WOBBE, que indica a intercambialidade de gases combustíveis. Esta pesquisa apresenta soluções tecnológicas para uso de ar-propanado, identificando suas propriedades e estabelecendo normas para seu uso. Este combustível alternativo mostra-se adequado para garantir o abastecimento de pequenos e médios consumidores, criando uma alternativa viável para o desenvolvimento de novos mercados ou como substituinte do gás natural em situações de falta ou problemas técnicos.

Palavras chave: ar-propanado, misturador, câmara, combustão.

1. Introdução

Apresentado como gás combustível de reserva, o ar propanado é uma mistura de propano ou GLP com o ar, visando encontrar a partir desta mistura um combustível alternativo equivalente ao gás natural (GN), e permitindo desta forma que plantas industriais possam operar com esta fonte alternativa ou com ambos os gases (GN e ar-propanado) sem dispor de grandes modificações na estrutura das instalações de GN (gás natural). Sendo assim, este combustível alternativo poderá servir àquelas indústrias não favorecidas com as linhas de GN, bem como garantir a continuidade dos processos nas indústrias que utilizam GN nos períodos de grande consumo que possam ocorrer. Sistemas de ar propanado oferecem uma alternativa para abastecer unidades industriais que necessitam de gás de queima, sendo uma solução para o caso onde os custos para implementação de gás natural se apresentem elevados. O comparativo entre o poder calorífico do gás natural e do ar propanado é avaliado através do índice de Wobbe (Kuo, 1986).

Baseando-se nesta informação foi construída uma planta piloto de ar-propanado para realização de testes que indiquem os percentuais ideais de ar e GLP que façam com que a mistura apresente um poder calorífico semelhante ao do gás natural.

2. Dimensionamento e Montagem da Planta Piloto

A metodologia utilizada para o sistema de ar-GLP consistiu-se de:

- Montagem de uma câmara de combustão para determinação do percentual adequado de ar-GLP;
- Seleção/dimensionamento/montagem do sistema de mistura ar-GLP;
- Dimensionamento do sistema de automação (Considine, 1993; Levine 1996; Ogata, 1998) da unidade piloto para garantir segurança e operabilidade da planta piloto;

O presente trabalho descreve todo o dimensionamento da unidade e a seleção do sistema de análise química dos reagentes. A planta piloto está pronta para os experimentos de teste com este combustível.

A planta de laboratório para produção de ar-propanado foi dimensionada e montada no Laboratório de Controle e Otimização de Processos do Departamento de Engenharia Química – LACO - UFPE. O sistema é composto basicamente por 3 (três) ambientes físicos:

- Estação de armazenagem de GLP. Adjacente a ela está o compressor de ar;
- Sala de mistura onde estão os equipamentos do processo;
- Sala de controle, onde são feitos os tratamentos das informações de medições das variáveis: vazões, pressão, temperatura, e a manipulação dos elementos de controle (válvulas de controle de vazão) do processo.

A planta está dividida em duas linhas distintas de processo: mistura e a câmara de combustão. A sala de mistura ocupa um espaço de 5,50m x 5,96m. A saída do misturador fica a uma distância de 12,00m de um forno para realização de testes de queima. A casa de armazenagem de GLP, juntamente com a casa do compressor, tem dimensões de 6,50m x 2,30m, conforme mostra a Figura 1.

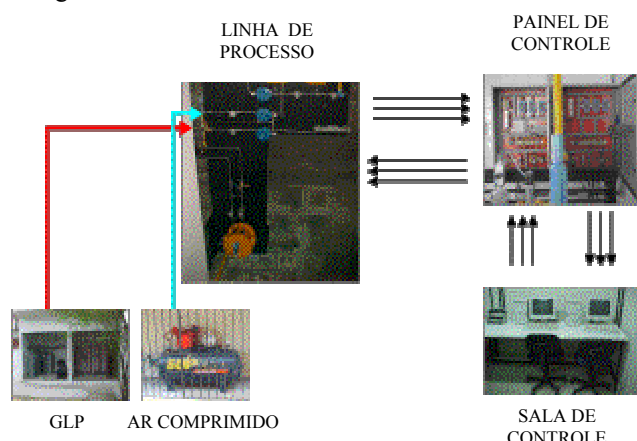


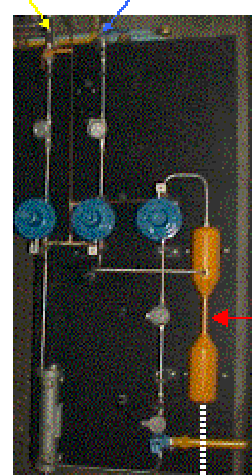
Figura 1 - Fluxograma da Unidade

A estação de GLP inclui pontos de leituras de pressão, linha de tubulação de gás e válvulas reguladoras de pressão.

Linha de Mistura: O processo de mistura de ar e GLP visa obter uma mistura com poder calorífico ($Wobbe = 11.600 \text{ kcal/Nm}^3$) semelhante ao do gás natural, para isso são analisados vários percentuais de GLP e de ar, conforme mostra a Figura 2 – Disposição dos Instrumentos na linha de Mistura. Essa linha é composta pelos seguintes instrumentos:

- 1- Linha de gás propano:
 - Válvula de bloqueio 1/2"
 - Válvula reguladora de pressão
 - Sensor de vazão
 - Válvula de controle
 - Válvula de alívio
 - Sensor de temperatura gás vaporizado
 - Sensor de pressão gás vaporizado
 - Sensor de vazão gás vaporizado
 - Válvula de controle gás vaporizado
- 2- Linha de ar comprimido:
 - Válvula de bloqueio 1/2"
 - Válvula reguladora de pressão
 - Sensor de pressão
 - Sensor de vazão
 - Válvula controladora
- 3- Misturador tubo tipo Venturi:
 - Válvula de bloqueio 1/2" – amostra

ENTRADA DOS GASES



SAÍDA DE AR-PROPANADO

Figura 2 - Disposição dos Instrumentos na Linha de Mistura

O processo de mistura, GLP com ar, pode ser realizado seguindo dois procedimentos simples:

- a- Preencher um recipiente (tanque ou tubo venturi) com GLP e adicionar ar para atingir a proporção adequada.
- b- Preencher um recipiente (tanque ou tubo venturi) com ar e GLP para atingir a proporção adequada

O preenchimento adequado para operação do sistema ar-propanado é o apresentado no item (a), e pode ser confirmado analisando os valores dos limites de explosividade inferior e superior da mistura propano-ar. (ou GLP-ar). Considerando-se que o propano seja oriundo da mistura GLP temos:

- Limite inferior de explosividade: 1,1 a 2,2 % de GLP na mistura
- Limite superior de explosividade: 9,0 a 9,5 % de GLP na mistura

No primeiro caso (a) o recipiente encontra-se com 100% de GLP e é adicionado ar para atingir a proporção de aproximadamente 50% de GLP e 50% de ar não passando pelas proporções de explosividade para atingir este percentual de trabalho. Isto não acontece no caso (b). A proporção adequada, conforme é assinalada na literatura científica e comercial é de 43% de GLP e 57% de ar, este valor é o divulgado por empresas do ramo de venda de gás combustível.

Os testes de mistura são realizados e controlados via programa computacional supervisorio. A mistura é analisada através de cromatografia gasosa. A calibração dos equipamentos que compõem a linha de mistura foi realizada tanto via programa computacional como também manualmente.

Linha da Câmara de Combustão: A câmara de combustão tem a finalidade de após inserir a quantidade de ar e de GLP efetuar uma ignição verificando se a chama se propaga. A partir desses dados é possível especificar a operação do sistema de mistura, conforme mostra a Figura 3.

Essa linha é composta pelos seguintes acessórios:

1- Linha de gás propano:

Válvula de bloqueio 1/2"

Sensor de pressão

Sensor de vazão

Válvula solenóide

2- Linha de ar comprimido:

Válvula de bloqueio 1/2"

Sensor de pressão

Sensor de vazão

Válvula solenóide

3- Câmara de combustão:

Ignitor

Sensor de pressão

Sensor de temperatura

Sensor de chama

Válvula de bloqueio 1/2" – amostra

Válvula de alívio

Visor

4- Geral:

Válvula de bloqueio 1/2" – Nitrogênio para limpeza



Figura 3 – Linha da Câmara de Combustão

A calibração dos equipamentos que compõem a linha da câmara de combustão foi realizada da mesma maneira que a da linha de mistura. Os sensores foram testados e calibrados tomando como base os valores máximos, médios e mínimos de leitura, para cada instrumento.

As vazões da linha da câmara de combustão, bem como a linha de mistura, são controladas por programa computacional o qual recebe os sinais através dos painéis de controle e envia-os aos computadores localizados na sala de controle. O programa utilizado para aquisição de dados e controle é composto por dois aplicativos, um para a câmara de combustão e outro para o misturador. Através dos algoritmos introduzidos nesse software, é possível especificar as condições do processo e manipular as variáveis de tal forma que os valores de referência sejam alcançados. Os sinais de saída do computador são enviados para a unidade, permitindo o controle das vazões de ar e GLP. Também é possível controlar a ignição na câmara de combustão e monitorar os instrumentos que compõem as linhas da unidade piloto.

3. Cromatografia

Foi dimensionado um sistema de coleta de amostras através de um cilindro amostrador, conforme mostra a Figura 4, o qual é conectado a um cromatógrafo com a finalidade de verificar a composição dos gases.

Inicialmente é coletada uma amostra diretamente do cilindro de GLP e outra após a saída do misturador para verificar os percentuais dos gases da mistura ar e GLP e finalmente na câmara de combustão, analisando os gases da queima.



Figura 4 – Cilindro amostrador Swagelok

A determinação da composição de ar-GLP será feita a partir de análises de cromatografia gasosa (CG) detecção por ionização de chama e condutividade térmica, para a identificação qualitativa e quantitativa de reagentes.

A metodologia de análise tomada como base, levou a escolha da cromatografia em fase gasosa, Cromatógrafo VARIAN Saturno 2000, conforme mostra a Figura 5, com duas detecções diferentes, uma usando detecção por Ionização de Chama, os cromatogramas característicos das colunas a serem utilizadas foram coluna 30m x 0,53 mm NON-PAKD e coluna 30m x 0,53 mm ID, ambos podem ser observados nas Figuras 6 e Figura 7 respectivamente.



Figura 5 - Cromatógrafo VARIAN (utilizado nas análises)

As análises têm como objetivo quantificar o teor exato da mistura do gás GLP (propano, etano e metano) usado na combustão com ar e os demais gases presentes proveniente do ar (N₂, O₂, Ar e outros possíveis) e da mistura formada pós-queima a partir de uma outra detecção por Condutividade Térmica. Inicialmente os gases serão coletados e transportados até o cromatógrafo através de um cilindro amostrador modelo Swagelok, específico para os tipos de gases presentes nas amostras.

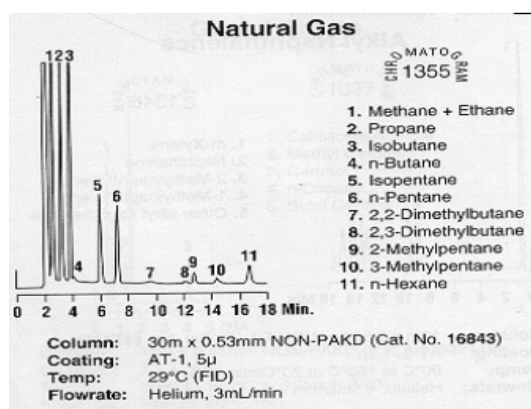


Figura 6 - Coluna 30m x 0,53 mm NON-PAKD

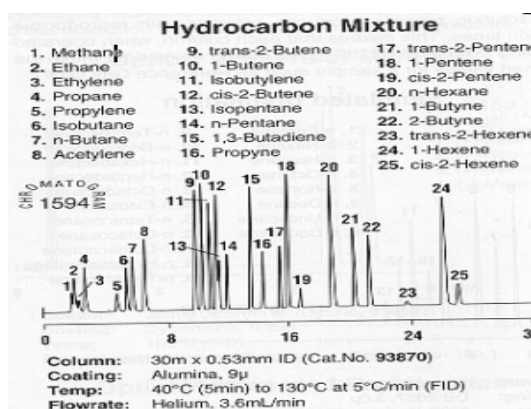


Figura 7 - Coluna 30m x 0,53 mm ID

A metodologia de análise desenvolvida passará pela etapa de validação no intuito de sua utilização no monitoramento da composição de queima do ar-propanado.

A mistura obtida, ou seja, ar-propanado será queimada em um forno de calcinação de gesso, o qual utiliza gás natural como combustível. A partir daí serão feitos estudos comparativos para verificar o poder calorífico do gás em estudo, determinando assim, a utilidade desse gás.

4. Resultados e Discussão

- TESTES DE QUEIMA AR-AR UTILIZANDO MISTURADOR VENTURI

Foi utilizado AR comprimido nas duas tubulações para simular o estabelecimento da mistura ar-GLP através do aplicativo de controle da linha de mistura apresentado no capítulo anterior.

Neste caso tem-se o mesmo produto, oriundo de uma mesma fonte (compressor) sendo dividido para as duas tubulações. Quando o algoritmo de controle inicia o processo de controle das vazões tentando estabilizar no valor desejado as vazões do suposto GLP e do AR existiu uma dificuldade, pois, quando a vazão na linha de ar cresce a vazão na linha de GLP decresce por ser a mesma fonte de alimentação sendo dividida. Como consequência às variações nas vazões dos gases foram bruscas. No gráfico da Figura 8 o valor desejado das vazões foi 50L/min e o controle conseguiu estabilizar neste valor a partir das 15:03. A pressão de ar utilizada foi de 5 psi. o início da operação foi em 14:59.

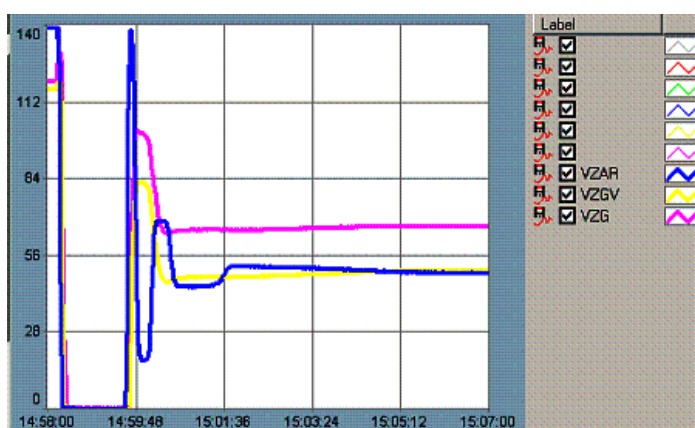


Figura 8 - Gráfico do histórico das vazões, usando em ambas tubulações AR comprimido

- TESTES DE QUEIMA AR-NITROGÊNIO UTILIZANDO MISTURADOR VENTURI

Percebeu-se a necessidade de empregar dois gases independentes e então foi adquirido um sistema regulador de pressão para acoplar Nitrogênio à linha de GLP. O nitrogênio possibilita fazer uma simulação de mistura AR-GLP, para testes no misturador, sem tê-lo que partilhar com outra tubulação como no experimento com ar. O nitrogênio chega até a unidade piloto pela mesma tubulação de GLP.

Na figura 9 o valor desejado para as vazões foi de 50L/min, onde neste gráfico pode-se ver que as vazões chegam ao valor desejado em aproximadamente 3 minutos, considerando que a aproximação da estabilidade se dá em aproximadamente 10:58. O tempo é aproximadamente o mesmo para o caso anterior com ar sendo que as variações nas vazões no caso anterior são muito bruscas o que não acontece neste caso.

Os testes de AR-AR e AR e Nitrogênio descritos para o misturador Venturi foram executados a pressões de 5 psi para os dois gases. Foi constatado que a pressões acima de 5psi com o misturador tipo Venturi não é possível estabelecer a mistura. O problema foi detectado, e está relacionado ao mau dimensionamento da entrada de ar, que para este misturador se localiza antes da passagem dos gases. Assim quando as pressões eram elevadas um gás impedia a passagem do outro e as pressões se igualavam dentro das tubulações.

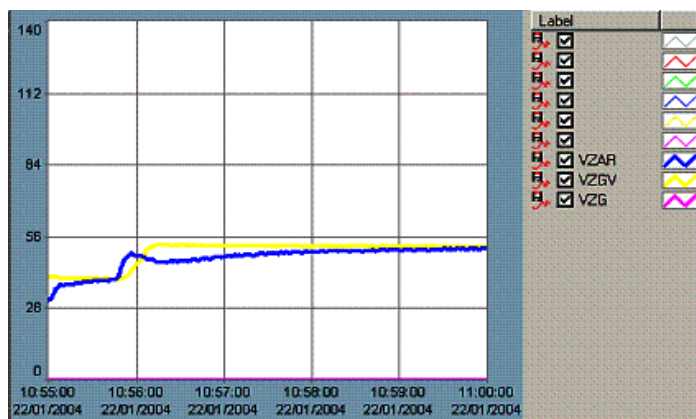


Figura 9 - Gráfico do histórico das vazões utilizando-se Nitrogênio para simular o GLP e o ar comprimido

- TESTES DE QUEIMA UTILIZANDO NOVO MISTURADOR – PLACA DE ORIFÍCIO

Para efetuar a mistura de ar e GLP a pressões mais elevadas, foi dimensionado e construído um sistema de placa de orifício. Este novo sistema de mistura tem o mesmo princípio que o misturador Venturi. Consta de uma tubulação onde no meio dela há uma placa com um orifício de diâmetro bem menor que o do tubo. O ar comprimido entra na segunda parte da tubulação, depois da passagem do GLP pelo orifício.

A Figura 10 apresenta o resultado dos testes de obtenção da mistura ar propanado através do gráfico das vazões obtido pelo aplicativo de controle da linha de mistura. O valor desejado para as vazões de ar (VAR) e GLP vaporizado (VZGV) neste experimento foram de 50L/min e as pressões dos gases foram de aproximadamente 10psi. Com o misturador de placa de orifício conseguiu-se estabelecer a mistura nesta pressão. A pressão de 10psi não foi possível estabelecer a mistura no misturador Tubo Venturi.

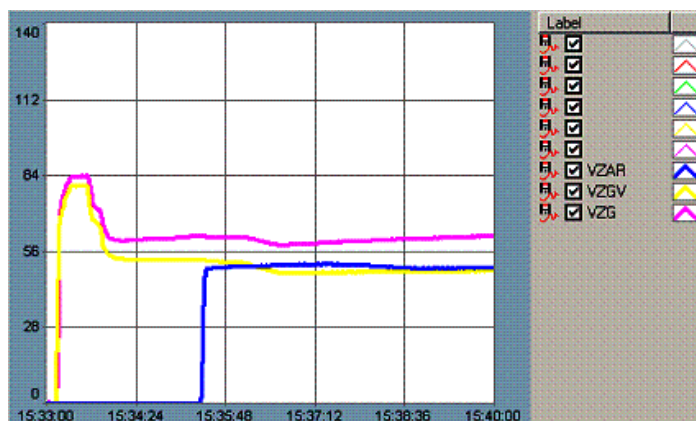


Figura 10- Gráfico das vazões com os gases a pressões de 10 psi, vazão desejada para o ar e o GLP foi 50L/min.

A figura 11 mostra os resultados, vazões de AR e GLP ao longo do tempo. A mistura neste exemplo ficou nas proporções 70% de AR e 30% de GLP. O teste foi executado no misturador de placa de orifício a uma pressão de 20psi para os dois gases (AR e GLP). O início do teste se dá em 15:05. A estabilidade nos valores desejados de vazão acontece em aproximadamente 15:08.

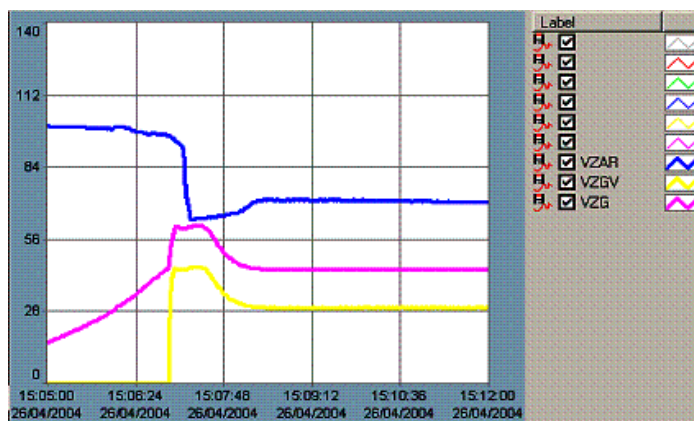


Figura 11- Gráfico das vazões com os gases a pressões de 20 psi, vazão desejada para o ar foi 70L/min e para o GLP é 30L/min.

5. Conclusão

Com a montagem da unidade piloto de ar-propanado foi possível cumprir as etapas iniciais para o desenvolvimento de equipamentos de processo. Uma avaliação criteriosa das informações técnicas disponíveis foi realizada. Os procedimentos mais relevantes para a operação com segurança de uma unidade piloto de ar-propanado foram estabelecidos principalmente com o preenchimento do sistema de mistura com GLP e posterior alimentação de ar. Um sistema de controle, incluindo instrumentação e softwares de aquisição e controle foi dimensionado e montado para a unidade piloto. Montou-se um sistema de controle semelhante ao que será efetuado em uma unidade industrial. A unidade está apta a operação de queima do ar propanado.

6. Agradecimentos

Os resultados apresentados fazem parte do projeto de pesquisa *Desenvolvimento de um sistema para utilização de ar propanado visando atendimento precoce de novos mercados para GN*, Edital CTPETRO-2001 financiado pela FINEP, PETROBRAS e COPERGAS, dentro da REDE GAS & ENERGIA. As bolsas de pesquisa foram financiadas pelo CNPq, bolsas de Iniciação Tecnológica e de Desenvolvimento Tecnológico. Agradecemos imensamente a estas instituições o apoio técnico e financeiro.

7. Lista de Referencia

- Considine, D. M.;1993. Process/Industrial Instruments & Controls Handbook. McGraw-Hill, 4th, New York.
Levine, W. S., 1996, The Control Handbook, CRC PRESS
Ogata, K., 1998. Engenharia de Controle Moderno 3 ed , PHB
Perry, R. H.; Green D.; 1973. Perry's Chemical Engineers' Handbook 5 ed. Singapore, McGRAW-HILL.
Principles of Combustion, 1986, Kenneth Kuan-yun Kuo, Interscience; 1 edition.

DESIGN AND ASSEMBLY OF A PROPANED AIR PILOT UNIT

M.C.A. Aquino

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. aquinoufpe@yahoo.com.br

F.A. Lins

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. flavianylins@yahoo.com.br

R.V. Paulino

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. pqrmnt2@yahoo.com.br

S. Lucena

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. lucena@ufpe.br

N. Medeiros

Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Química – Laboratório de Controle e Otimização de Processos. Rua Prof Moraes Rego S/N, Cidade Universitária. CEP: 50670-090 – Recife-PE – Brasil Telefone (0-xx-81) 2126-7274. Fax: (0-xx-81) 2126-7289. lucena@ufpe.br

Resumo. A pilot unit to study the combustion of gas mixtures was designed and installed in the Department of Chemical Engineering of UFPE. This plant is intended to perform mixtures combustion tests to obtain the best air LPG percentages with a combustion heat (11,660 kcal/Nm³) similar to that of the natural gas. This analysis is referred to the Woobe index which indicates the interchangeability of combustible gases. This research presents technical solutions to be used with propaned air, identifying its properties and establishing norms for its use. Propaned air has shoron to be an adequate fuel for small and medium consumers creating an alternative for the development of new markets or as a substitute for natural gas in situations where some technical reasons it is not available.

Keywords: Propaned air, mixer, chamber, combustion.