ESTUDO DE AUTOMAÇÃO DE GASODUTOS DE PEQUENAS USINAS DE BIOGÁS

DEVELOPMENT OF GAS PIPELINE AUTOMATION FOR SMALL BIOGAS PLANTS

Pedro Luiz Fernandes Aranha[1], Matheus Dias Almeida[2], Rafael Nossi da Silva[3], César da Costa[4], Elcio Rodrigues Aranha[5]

Abstract *– The Biogás, also known as swamp gás, is a renewable resource of energy and naturally formed by anaerobic decomposition of organic matter, this process can be optimized by using special chambers that are called biodigestors. There are many processes that can use this and generate electricity, use as substitute for fossil fuel or even sell as carbon credit. But instead they just burn the gas and discard it. It`s low compressibility makes it being transported in gaseous form, unlike LPG, making it harder to occur explosions. This study`s main goal is to create a system of pressure and output control, by changing the rotation of a centrifugal compressor, for small and médium gás pipelines. To reach that goal, and mathematical modeling was elaborated and after that a computer simulation using MATLAB/ SIMULINK.*

Index Terms – renewable resource, energy, biodigestors

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Biogás

O biogás é formado a partir da decomposição anaeróbica (que ocorre sem depender de oxigênio) de material orgânica. Sua composição é basicamente metano(de 40% a 80%) e gás carbônico (aproximadamente 35%), e seu restante formado por uma mistura de gases (hidrogênio, nitrogennio, gás sulfídrico, ammonia, oxigênio), que podem ser considerados impurezas. Sua composição varia em função das substâncias utilizadas como matéria-prima, além de existirem processos de purificação, aumentando a concentração de metano, que podem ser executados após sua formação visando aumentar seu poder calorífico.

Algumas de suas vantagens é que por ser naturalmente produzido, inúmeros estabelecimentos podem se beneficiar desse processo, como fazendas e abatedouros, podendo diminuir seus gastos com energia elétrica e combustíveis fósseis, além disso, os resíduos formados no processo podem ser vendidos como fertilizante. Já uma desvantagem a ser ressaltada é que por possuir uma grande concentração de metano, ele não deve ser liberado na atmosfera por ser muito mais poluente para o ambiente, portanto deve ser queimado sendo liberado o gás carbônico. [1]

Biodigestor

Biodigestores são reservatórios onde a pressão e temperatura interna tendem a se manter constante, otimizando a ação das bactérias. Embora sejam utilizados em países asiáticos há muitos anos, existem registros de um biodigestor construído na Índia em 1857, no Brasil a primeira unidade foi instalada em 1979, quando ocorreu a crise do Petróleo e o goerno criou medidas para estimular a produção de combustíveis alternativos. Alguns modelos (chinês e indiano) são bastante simples de serem elaborados e necessitam de um baixo investimento para sua construção.

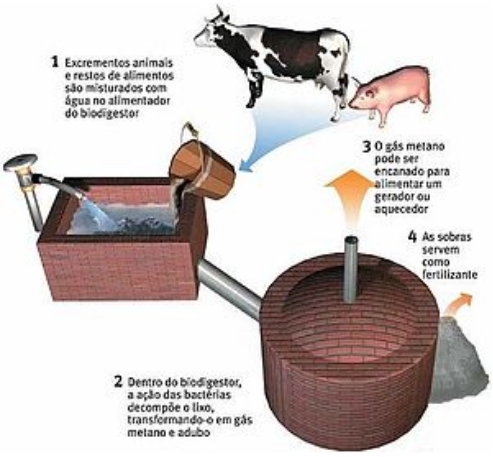

FIGURA. 1
ESQUEMA DE UM BIODIGESTOR (FONTE: PT.WIKIPEDIA.ORG)

MATERIAIS E PROCESSOS

A figura abaixo ilustra a representação esquemática do segmento de estudo, que é basicamente composto pelos components:

Sistema de compressão (Compressor centrífugo);
Válvula de alívio (VAS);
Segmentos de Dutos;

[1] Pedro Luiz Fernandes Aranha, Engenharia de Controle e Automação, IFSP, São Paulo/SP, aranhaplf@gmail.com
[2] Matheus Dias Almeida, Engenharia de Controle e Automação, IFSP, São Paulo/SP, matheus_2d3@hotmail.com
[3] Rafael Nossi da Silva, Engenharia de Controle e Automação, IFSP, São Paulo/SP, r_nossi@hotmail.com
[4] Cesar da Costa, Engenharia de Controle e Automação, IFSP, São Paulo/SP, cost036@attglobal.net
[5] Elcio Rodrigues Aranha, Tecnologia em Automação Industrial, IFSP, São Paulo/SP, elcio.aranha@gmail.com

DOI 10.14684/ICECE.9.2015.121-125
© 2015 COPEC

- Estação de Medição (Vazão e Pressão);
- Destino Final (Estação Final);

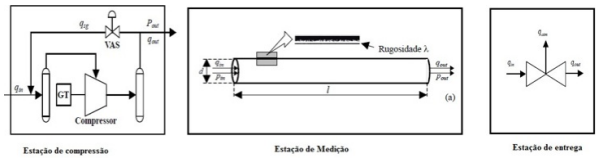

FIGURA. 2
REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A. ESTAÇÃO DE COMPRESSÃO

A definição do tipo de compressor a ser utilizado depende exclusivamente das condições de operação do gasoduto e seus aspectos, portanto na capacidade e na potência requerida pelo processo. Um método que pode auxiliar essa decisão são os driagramas de Mollier. Nesse estudo escolhemos utilizar um compressor centrífugo porque neste tipo de compressor, o aumento de pressão se dá pela ação de um rotor provido de pás que faz com que gás seja impulsionado através de um impelidor atingindo velocidade elevada sendo posteriormente descarregado em um difusor formado por um caixa em forma de voluta ou por canais difusores. Ambos têm como objetivo fazer com que o gás perca velocidade. Desta forma, a energia cinética oferecida ao gás pelo rotor é praticamente toda revertida em pressão para o fluído.

Os turbocompressores, um tipo de compressor centrífugo, são os tipos de máquinas mais utilizadas em gasodutos. Isso se dá por sua capacidade de gerar altas diferenças de pressão (bem acima de 10 Kgf/cm2), e justifica a utilização de refrigeração intermediária. Tal tipo de máquina é de difícil construção e exige acabamento mecânico com precisão o que encarece bastante seu custo final.

Estes tipos de compressores apresentam geralmente baixo consumo de óleo lubrificante e custo de manutenção baixo devido a poucas partes móveis (impelidor e eixo). Não alcançam taxas de compressão altas como as unidades alternativas, porém propiciam uma entrega contínua de fluído sem variações no ciclo.

A pressão de descarga varia sensivelmente com pequenas variações na velocidade de rotação, e devido a isso os acionadores designados para operar com este tipo de compressor devem operar com variações de velocidade angular de 5%.

Os três itens de maior importância para a definição de um compressor centrífugo em uma linha de transporte de gás natural trabalhando com uma determinada pressão de descarga e capacidade são: potência do eixo, temperatura de descarga e velocidade de operação. Para determinar estes valores inicialmente deve-se calcular o head (trabalho por unidade de massa comprimida) que é dado por:

$$Hth = 144\int Vdp \qquad (1)$$

Porém, como para um compressor centrífugo o volume específico é uma variável. Portando assumindo um processo de compressão ideal politrópico, cujo o head é:

$$H_p = \frac{n}{n-1} ZRT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \qquad (2)$$

O rendimento termodinâmico associado ao processo politrópico resulta da divisão do head ideal pelo real da forma mostrada abaixo:

$$\eta_p = \frac{H_p}{H} \qquad (3)$$

Sendo que o head real pode ser calculado por:

$$H = \frac{Rk}{k-1}(T_2 - T_1) \qquad (4)$$

A partir disso, podemos calcular a potência requerida para compressão do gás usando (4):

$$Pex = \frac{WH}{33000e_0} \qquad (5)$$

A temperatura de saída pode ser dada utilizando esta relação fundamental da termodinâmica:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \qquad (6)$$

A definição da rotação pode ser realizada utilizando o diâmetro do impelidor e coeficiente de pressão. A expressão é a mostrada a seguir:

$$N = \frac{1300}{D_i} \sqrt{\frac{H}{\mu}} \qquad (7)$$

μ = 0,55 – Valor médio para um estágio de um turbo compressor tipo Clark.

O compressor centrífugo não pode atuar abaixo de uma capacidade mínima, pois a partir deste ponto este entra em instabilidade que vem acompanhado de um ruído denominado surge ou pumping. Tal limite está intimamente ligado pelo ângulo de descarga do impelidor, sendo na média das máquinas este ponto se dá em 50% do ponto de maior eficiência.

Existe outro fenômeno limitante denominado stall ou limite de stonewall, que se resume quando a velocidade do gás do impelidor no 1º estágio (ou outro) chega próxima a velocidade do som. Tal fato gera ondas de choque que efetuam um processo de blocagem na máquina.

B. ESTAÇÃO DE MEDIÇÃO

A medição confiável das variáveis pressão e vazão são imprescindíveis para garantir o bom funcionamento do duto, manter a segurança e garantir o faturamento. Para realizá-la existe uma enorme quantidade de equipamentos, os quais serão citados os mais importantes.

Toda a tubulação deve ser preservada por um sistema de proteção catódica para evitar corrosão , além de um anticorrosivo externo. [4]

De maneira geral funcionam como transdutores convertendo o valor de grandeza física em um sinal elétrico de corrente analógico padrão de 4 a 20 mA. Ou outro qualquer que permita a comunicação com a porta de entrada analógica de controladores programáveis, e com uma série de instrumentos possibilitando um monitoramento a distância.

Pressão

A medição de pressão ocorre sempre de maneira comparativa, diferenciando-se apenas pela referência em questão. A medição da pressão absoluta do gás se dá pela soma da pressão barométrica mais a pressão manométrica do gás.

De maneira geral, são utilizados manômetros de precisão e transmissores de pressão, como os sensores capacitivos ou piezelétricos.

Manômetros

Podem ser utilizados inúmeros tipos de manômetro na medição de pressão:

Manômetro de coluna: É constituído por um tubo com uma escala graduada e diâmetro constante onde fica uma quantidade pré-estabelecida de fluido incompressível no qual a força é aplicada, e assim a indicação na escala do valor de pressão é efetuada. Pode ser feita uma configuração com Ponte de Wheatstone de modo a fornecer um sinal analógico referente à medida efetuada.

Manômetro Bourdon: Consiste em um tubo em configuração elíptica no qual uma ponta é livre e a outra fixa. Quando é aplicada a pressão, existe uma tendência de o tubo se tornar circular, assim gerando um deslocamento que pode ser medido.

Para transferência da pressão em uma determinada região interna do duto (normalmente central) são utilizados tubos de Pitot, que são sondas compostas simplesmente por um tubo que fica alinhado com o fluxo de modo transferir a pressão existente para uma parte externa, e assim realizar a medição por um manômetro. No tubo de Pitot simples a pressão medida é a soma da pressão estática e pressão dinâmica. Utilizando-se o tubo de Pitot estático ou tubo de Prandtl é possível a medição de somente a pressão dinâmica, pois existe um outro tubo que permite que a leitura já esteja sem a pressão estática.

Para realizar uma medida media de pressão em uma tubulação pode-se efetuar uma tomada em anel.

Vazão

Existem os mais variados tipos de sensores de vazão: Venturis, Placas de Orifício, Turbinas, ultra-som, hélices etc. A maioria dos medidores utiliza os princípios de medição da velocidade do fluido ou da variação de energia cinética.

Todos os tipos de medidores de vazão devem ser instalados em trecho reto de tubulação, e em caso de medição para faturamento, deve ser respeitadauma distância de 120 diâmetros de qualquer singularidade.

Tipo placa de orifício

Consiste em uma placa com uma passagem circular no meio que é colocada de modo a promover o estrangulamento do fluxo, alterando assim o perfil de velocidade do escoamento.Seu principio de funcionamento é similar ao medidor venturi, porém necessita de um acabamento de usinagem não tão perfeita, além de gerar uma menor perda de carga. Para o calculo da vazão é necessário o monitoramento da diferença pressão no medidor, que é feita geralmente um pol. a esquerda e a direita da placa.

De tal forma modelando o problema partindo da equação de Bernoulli para fluídos tem-se que:

$$Q = C_1\sqrt{\Delta P} \tag{9}$$

onde C1 é comumente é obtido através de calibração do equipamento, mas pode ser obtido também de maneira teórica.

Tipo ultrassom

Tal dispositivo utiliza o conceito de físico de propagação de ondas em um meio para determinar a vazão. Existem duas classificações possíveis para sensores deste tipo [7]:

Efeito Doppler

Baseiam-se no principio Doppler da variação da freqüência de ondas entre células emissoras e receptoras estando em movimento relativo. A faixa de freqüência utilizada é de 150Khz à 5Mhz, porém para ser utilizado o fluido deve possuir uma quantidade de partículas em suspensão maior que 1% e menor que 10%.

Emissor e receptor ficam instalados externamente alinhados nas laterais da tubulação, sendo assim realizada a emissão do sinal e captação devido a reflexão nas partículas em suspensão do fluído sendo medida, portanto a freqüência

de chegada. De tal forma é possível calcular a vazão utilizando (10):

$$Q = \frac{\pi . D^2 v_t}{4 \cos\theta} . \frac{\Delta f}{f_0} \qquad (10)$$

C. ESTAÇÃO DE ENTREGA

Compreende basicamente um conjunto de válvulas, que possuem em comum a intervenção no fluxo de gás. São acopladas junto a atuadores, que podem ser acionados por variados mecanismos, Devem ser robustas e serem constituídas de materiais de resistência mecânica elevada, aço carbono ou ferro fundido são os mais utilizados, permitindo sua aplicação em altas temperaturas e pressões, além de possuir resistência à corrosão. [5]

METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido buscando-se informações em artigos técnicos, livros, monografias e dissertações de mestrado, onde foi possível visualizar diferentes formas de execução da automação. Por meio das informações, buscou-se desenvolver um sistema de controle e supervisão com a interface mais clara e didática, buscando-se indicadores simples e visuais, para que o nível de absorção de conhecimento seja o maior possível.

A proposta desse trabalho é a obtenção de biogás seguro e controlado, tendo sido elaborado a partir de uma modelagem functional do compressor, válvulas atuadoras e o controlador. Os dados intrínsecos ao sistema, como constantes do gás, pressão de entrada do compressor, vazões volumetricas, entre outras, foram obtidas em visitas técnicas à instituições como SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e Usina São João de Energia Ambiental, localizada em Sapopemba/SP.

Embora não seja muito utilizada no Brasil, a modelagem matemática é de extrema importância, tendo uma grande importância no exterior, devido a sua alta confiabilidade e seu baixo custo, portanto após a coleta dos dados, fomos capazes de elaborar os modelos matemáticos do comportamento do gás e do compressor, utilizando curvas de funcionamento, equações de Head termodinâmico, que simula o comportamento do compressor centrífugo [6] fornecidas pelo fabricante do equipamento. Utilizamos o MatLab/Simulink para tal simuação pela familiaridade com a ferramenta e a possibilidade de simular o controlador PI.

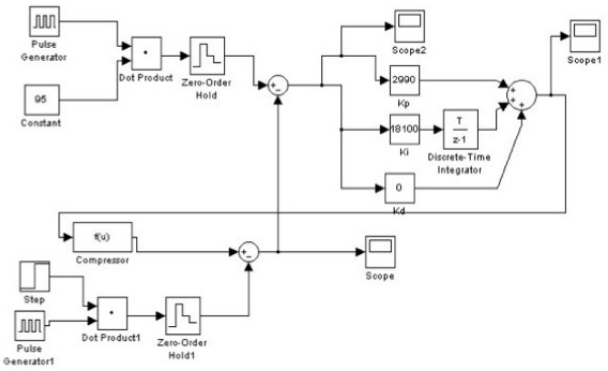

FIGURA. 3
DIAGRAMA DE BLOCOS DO MODELO DESENVOLVIDO PARA SIMULAÇÃO

RESULTADOS

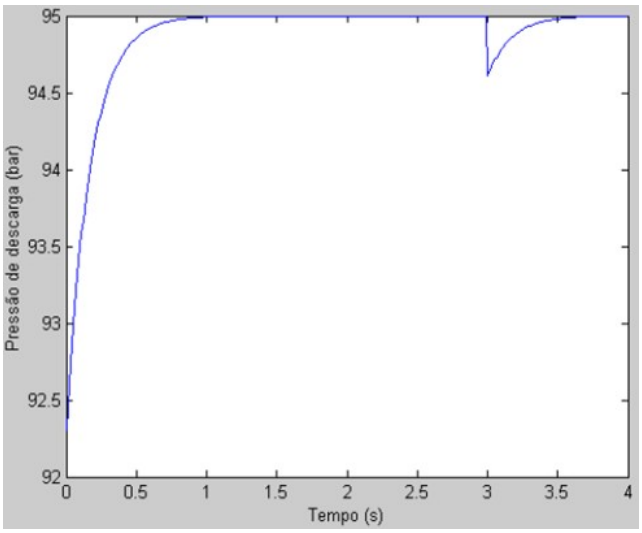

FIGURA. 4
RESULTADO DA SIMULAÇÃO PRESSÃO X TEMPO

Como podemos observar na figura 4 acima, a pressão de saída tende a ser constante, e no instante t=3s simulamos um vazamento a fim de observar se o compressor realmente seria capaz de retornar à pressão de operação. Abaixo podemos observar o aumento da rotação do compressor a fim de corrigir a queda de pressão.

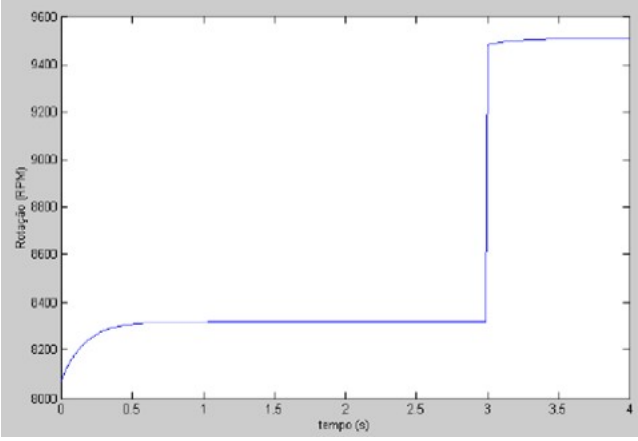

FIGURA. 5
VARIAÇÃO NA ROTAÇÃO DO COMPRESSOR

CONCLUSÕES

Oa resultados obtidos nas simulações mostram que é viável automatizar um gasoduto para biodigestores de pequeno porte, controlando sua vazão e pressão de saída, a partir da atuação no compressor centrífugo utilizando um controlador proporcional integral (PI). Além de ser um combustível ˜limpo˜, que não depende o petróleo, cuja produção é de baixo custo, portanto a utilização dessa fonte de energia tende a aumentar a cada dia, sendo uma alternativa bastante interessante até mesmo quando comparada à energia eólica.

REFERÊNCIAS

[1] DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. A biogas from waste and renewable resources – An introduction. Segunda edição, Wiley-VCH, 2011.

[2] GASPAR, R. M. A. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de casona região de Toledo – Paraná. Dissertação de mestrado, Engenharia de Produção, UFSC, 119p, 2003.

[3] SARAVANAN, V., SREEKRISHNAN, T. R. Modelling anaerobic biofilm reactors – A review. Journal of Environmental Management, V.8, pp 1-18, 2006.

[4] MACIAS,I. B. Detecção de vazamentos em tubulações transportando gás. Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, 2004.

[5] LUCAS JUNIOR, J. Estudo comparativo de biodigestores modelos indianos e chineses. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 1987.

[6] FALETO, F. P. Controle e supervisão de pressão e vazão em gasodutos. Monografia, relatório final, Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor de Petróleo e Gás – PRH – ANP/MME/MCT, Universidade Federal de Itajubá, 2003.names; replace the others by "*et al*." Do not put figures or anything else after the references.