

DESVIOS DE LEITURA EM SENSORES DE VAZÃO PROVOCADOS POR ONDAS SONORAS ESTACIONÁRIAS

Celso Maximiano* ; Marcio D. Nieble* ; Sylvana C. P. Migliavacca** ; Eduardo R. F. Silva**

* COPESP - Coordenadoria Para Projetos Especiais
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242
CEP 05508-900 Caixa Postal 11.253
Cid. Universitária - USP - São Paulo - SP

** IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Trav. R, 400 CEP 05508-900
Cidade Universitária - USP - São Paulo - SP

ABSTRACT

The use of thermal sensors is very common for the measurement of small flows of gases. In this kind of sensor a little tube forming a bypass is heated symmetrically, then the temperature distribution in the tube modifies with the mass flow along it. When a stationary wave appears in the principal tube it causes an oscillation of pressure around the average value. The sensor, located between two points of the principal tube, indicates not only the principal mass flow, but also that one caused by the difference of pressure induced by the sound wave. When the gas flows at low pressures the equipment indicates a value that do not correspond to the real. Tests and essays were realized by generating a sound wave in the principal tube, without mass flow, and the sensor detected flux. In order to solve this problem a wave-damper was constructed, installed and tested in the sistem and it worked satisfactory eliminating with efficiency the sound wave.

INTRODUÇÃO

Durante a realização de alguns experimentos em que se fazia necessário medir pequenas vazões de gases a baixas pressões notou-se que o medidor térmico utilizado indicava um valor que não correspondia ao esperado. Algumas vezes chegou-se a detectar vazões negativas (contra-fluxo) quando isto era fisicamente impossível devido ao gradiente de pressão total.

Este problema começou então a ser investigado mais profundamente pois impedia a realização de experimentos nos quais a medida precisa de vazão é fundamental.

Utilizávamos o sensor de vazão mássica térmico em "by-pass" tipo Setaran. O instrumento foi aferido demonstrando que a fonte do erro estava na corrente gasosa que provinha do processo. A análise do gás não forneceu nenhuma indicação de possível causa de mal funcionamento do sensor.

Assim formulou-se a hipótese de que haveria uma onda sonora estacionária no gás e esta provocaria erros na leitura do sensor.

O objetivo deste trabalho é explicar de que forma uma onda sonora estacionária perturba a medida de fluxo de um gás através de um sensor térmico em bypass.

Para se compreender o problema em sua totalidade será descrito o princípio do medidor de vazão utilizado, assim como a hipótese formulada, o experimento realizado e as soluções propostas.

PRINCÍPIO DO MEDIDOR DE VAZÃO

O sensor de vazão mássica por mecanismo térmico em "by pass" modelo Setaran, doravante denominado apenas por conjunto sensor, é utilizado para medições de baixas vazões a baixas pressões de UF₆ em bancadas de teste de equipamentos .

O elemento sensor propriamente dito opera em um intervalo de medição menor do que o industrialmente necessário. Por esta razão é montado em um "by-pass" do tubo principal do assim denominado conjunto sensor. Apenas uma fração da vazão gás que passa pelo conjunto sensor efetivamente passa pelo elemento sensor .

O funcionamento de elemento sensor é baseado em balanço de massa, energia e no escoamento de calor. O elemento sensor consiste de 2 filamentos iguais bobinados em série ao redor de um tubo. As bobinas são alimentadas por uma fonte de tensão.

Existe um trecho de tubo entre as duas bobinas. As resistências (bobinas) aquecem o tubo simetricamente. Entre as duas resistências existem dois termopares simetricamente instalados. Quando se tem gás escoando através deste tubo o gás é aquecido pela primeira bobina e atinge a segunda bobina a uma temperatura superior à que atingiu a primeira.

Como o fluxo de calor da bobina para o metal e deste para o gás depende da temperatura deste último, cada termopar estabiliza-se em uma temperatura. Pode-se demonstrar que esta assimetria varia de acordo com o fluxo mássico do gás.

A Figura 1 representa esquematicamente o princípio de funcionamento desse tipo de medidor de vazão.

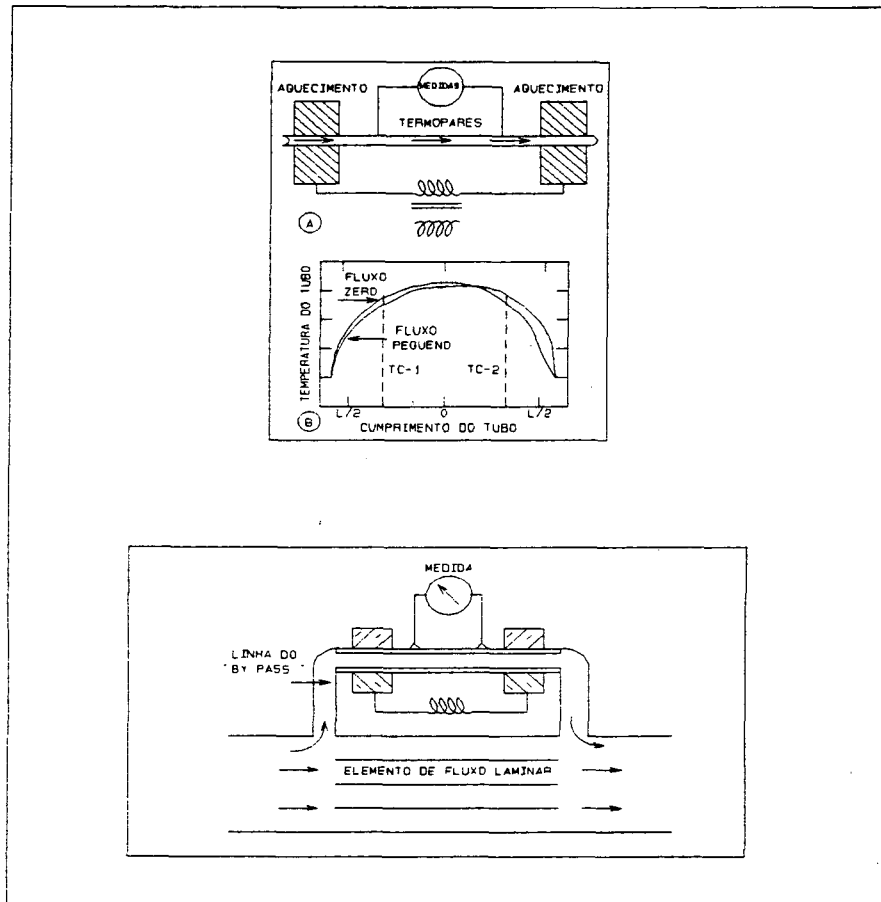


Figura 1: Esquema do Funcionamento do Medidor de Vazão Térmico em Bypass

HIPÓTESE

O histórico de uso do conjunto sensor na bancada de testes indicava o bom funcionamento na maioria dos ensaios a várias vazões e pressões. No teste de alguns equipamentos na mesma bancada, entretanto, as medidas de vazão lidas não correspondiam ao valor real dentro do erro normal de 1%. Em alguns casos o valor lido chegava a ser negativo!

Uma vez que em alguns dos sistemas mecânicos, ensaiado na bancada de testes, havia um componente que oscilava a baixas frequências, levantamos a hipótese de que este fato estava gerando uma onda sonora estacionária no gás que escoava.

O escoamento do gás ao longo do tubo principal do conjunto sensor ocorre porque a pressão à montante sendo menor que a pressão a jusante fornece a força motriz para vencer a perda de carga devido ao atrito viscoso do escoamento laminar no interior do tubo, por menor que este possa ser.

Parte do fluxo escoava pelo "by-pass" pela mesma razão. Portanto, podemos considerar que a medida de vazão no elemento sensor está diretamente relacionada com a diferença de pressão na entrada e saída do "by-pass". Esta diferença de pressão existe, é a perda de carga no tubo principal e seu valor é extremamente baixo se comparado com o valor da pressão no interior do tubo. Via de regra esta perda de carga sempre foi desconsiderada pois não temos sensores diferenciais de pressão para UF_6 que fossem capazes de medi-la.

A eletrônica do conjunto sensor considera que o fluxo através do sensor é laminar e portanto a vazão medida no "by-pass" é diretamente proporcional à vazão no tubo principal.

Uma onda de pressão é uma oscilação entre a pressão estática e a pressão dinâmica em um gás de forma que a pressão total se mantenha constante.

No sentido do fluxo, o gás passa por regiões de maior pressão estática e menor pressão dinâmica e vice-versa embora sempre no sentido de uma pressão total decrescente. Se a geometria do "by-pass" e o comprimento de onda for tal que um pico de pressão estática maior se localize em uma das extremidades do "by-pass" do bypass e uma região de pressão estática menor se localizasse em outra extremidade, isto induziria um fluxo através do sensor. Este fluxo induzido somar-se-ia ao fluxo devido simplesmente ao escoamento do gás pelo tubo principal e provocaria então uma medição errada de vazão mássica. Para que tal ocorresse seria também necessário que a amplitude das ondas de pressão fosse de grandeza compatível com o erro verificado.

A hipótese adotada portanto é que existiriam alguns equipamentos que induziriam no gás as já mencionadas ondas estacionárias e estas provocariam os erros indicados no sensor de vazão.

Esta hipótese explicaria inclusive as medições de vazão negativa que aconteceriam se a pressão maior se localizasse na extremidade mais a jusante do "by-pass". O fluxo induzido então seria no sentido contrário ao da vazão do gás.

Para reforçar a hipótese havia o conhecimento de que em alguns dos equipamentos que apresentavam o fenômeno quando ensaiados possuíam componentes em contato com o gás e que oscilavam a baixa frequência. Seria mais provável que o efeito se desse com ondas cujo comprimento fosse da mesma grandeza que o comprimento do "by-pass".

O arranjo físico dos equipamentos utilizados na experiência e a onda de pressão estática no tubo principal formada segundo a hipótese descrita são representados na Figura 2.

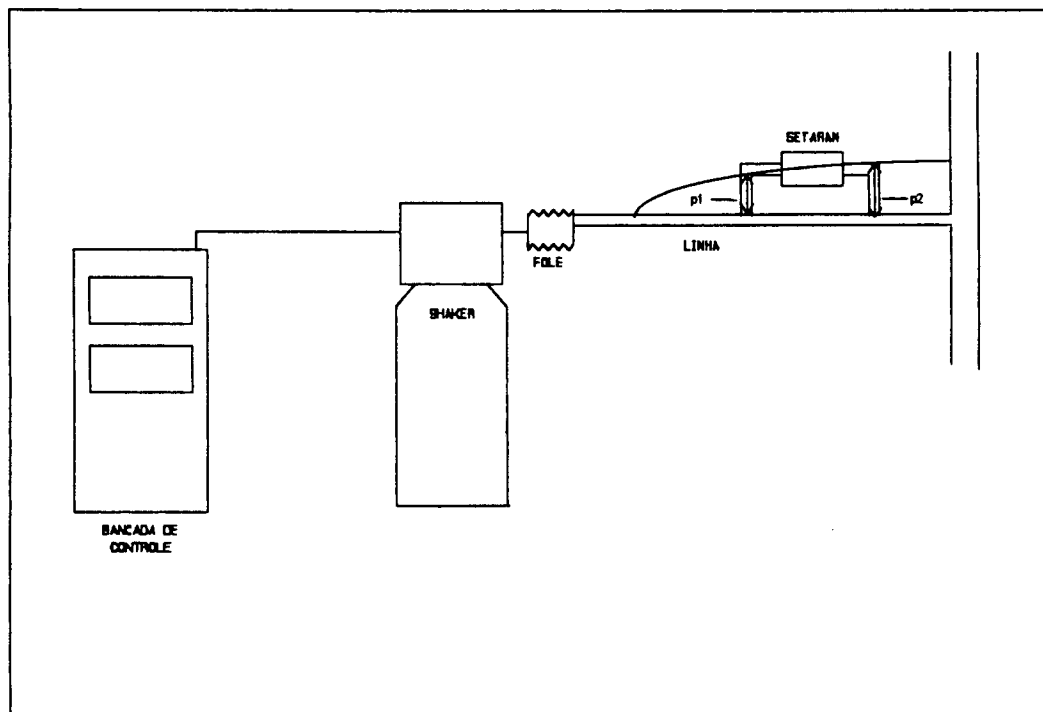


Figura 2: Esquema Representando a Instalação do Medidor e o Posicionamento da Onda de Pressão

EXPERIMENTO

Como não dispomos de instrumentação que seja capaz de detectar a eventual existência das propostas ondas sonoras propusemos duas medidas.

A primeira seria gerar ondas estacionária de frequência conhecida e verificar se as mesmas induziriam erro em um sensor.

A segunda medida seria projetar um silenciador que evitasse o fenômeno.

Desta forma provaríamos a existência das ondas estacionárias e resolveríamos os problemas devidos aos erros de leitura do sensor de vazão.

Através do uso de uma bancada de controle induzia-se uma frequência específica e uma amplitude a um "shaker" que por sua vez comprimia e tracionava um fole ligado a tubulação de gás estático (sem fluxo), causando assim uma onda estacionária.

Foi feita uma tabela de vazões lidas no conjunto sensor em função das frequências para algumas pressões representativas.

Devido a dificuldades experimentais não foi possível se estabilizar os valores de leitura por um tempo suficiente. Desta maneira pôde-se ter uma análise qualitativa da magnitude do erro provocado pela onda sonora em função das frequências para diversas pressões do gás.

O fole foi excitado com seis frequências diferentes. Estas frequências foram testadas em quatro patamares de pressão. Resultados são apresentados na Figura 3.

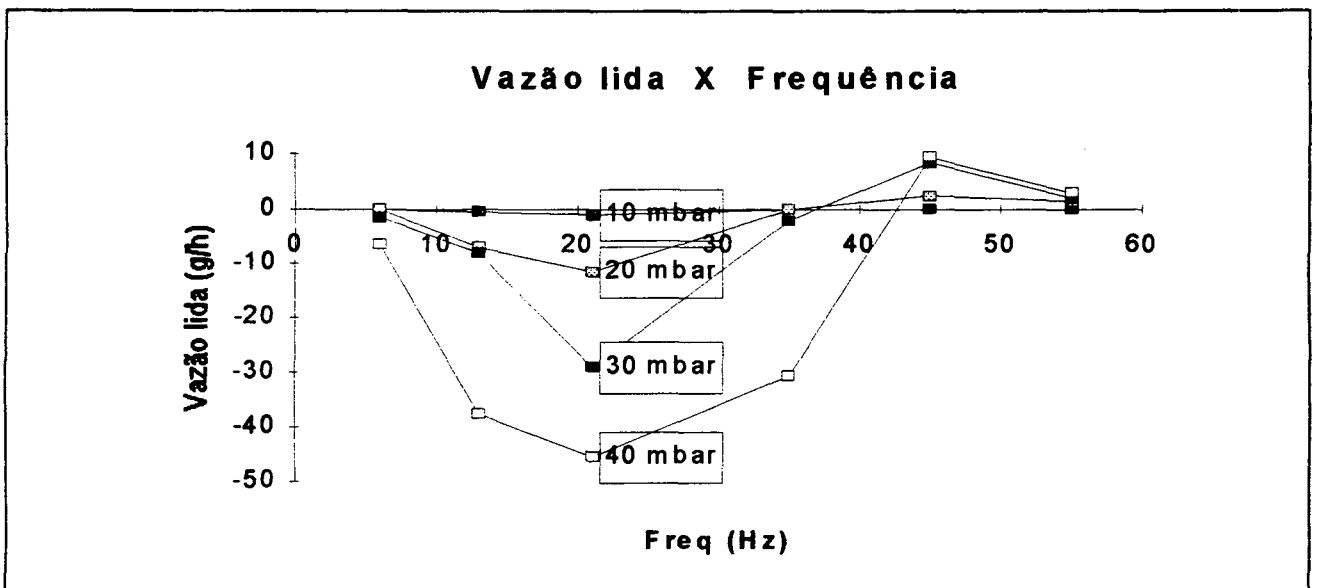


Figura 3: Valores de Vazão Lidos no Sensor de Fluxo sem Escoamento pelo Tubo Principal, O Erro de Medição é a Vazão Lida, em Função da Frequência de Excitação do Gás para Quatro Níveis de Pressão

AMORTECEDOR DE VIBRAÇÕES

Como solução para a interferência de ondas de pressão no sensor foi proposta a instalação de um silenciador sonoro (Ressonador de Helmholtz) na bancada de teste em série com o sensor de vazão, conforme apresentado na referência [2].

Foi projetado e testado um silenciador que amorteceu efetivamente as ondas para a faixa de pressão e frequência apresentados. O erro de leitura deixou de ocorrer tanto em ensaios com ondas provocadas pelo "shaker" como no ensaio de equipamentos que sem a presença do silenciador provocam erros de leitura no sensor de vazão.

CONCLUSÕES

- Ondas sonoras estacionárias existentes no gás provocam desvios de leitura no medidor de vazão térmico em bypass;

- O erro depende da amplitude de onda aumentando em pressões maiores .

-O erro máximo fica em torno de 20 hertz, frequência próxima da frequência característica do "by-pass" de acordo com o seu comprimento linear.

- Foi projetado e testado um método de amortecimento desta vibração que ocorre no gás através de um Ressonador de Helmholtz. O teste indicou amortecimento da vibração existente no gás de modo a amenizar o efeito induzido pela onda.

- Outros tipos de sensores em "by-pass" podem ser susceptíveis a limitações semelhantes. Sugerimos a construção de filtros sonoros incorporados na fabricação de sensores.

BIBLIOGRAFIA

[1] RESNICK, R. & HALLIDAY, D. Física. Rio de Janeiro, Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1984.

[2] GERGES, S.N.Y. Ruído Fundamentos e Controle. Florianópolis, Imprensa Universitária UFSC, 1992.