

MERCOFRIO 2000 - CONGRESSO DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO DO MERCOSUL

DESENVOLVIMENTO DE ANEMÔMETRO COM ROTOR AXIAL PARA MEDIÇÕES DE FLUXO EM TUBULAÇÕES DE VENTILAÇÃO INDUSTRIAL

Jorge Villar Alé – villar@ee.pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul LSFM-PUCRS

Laboratório de Sistemas Fluidomecânicos LSFM-PUCRS

Avenida Ipiranga 6681, Prédio 30, 90619-900;

Porto Alegre, RS - Brasil. Fax: (55-51) 320-3540

Guibson A. H. Santos – guibson@sanvitron.com.br

Sanvitron – Rua Vital Brasil, 158 – Bairro Viaduto – Igrêginha -RS 96650-000

Fax(55-51) 545-1044

Resumo. *O trabalho apresenta o desenvolvimento de anemômetro de pás de baixo custo utilizando um sensor ótico. O protótipo está sendo desenvolvido no âmbito acadêmico no Laboratório de Sistemas Fluidomecânicos (LSFM-PUCRS) em parceria com a empresa Sanvitron interessada no desenvolvimento tecnológico do protótipo estudando a viabilidade técnico econômica para sua inserção como produto final no mercado de equipamentos de medições industriais. Espera-se que o aparelho seja fabricado e reproduzido com confiabilidade como instrumento para realizar medições de escoamento no interior de dutos, nas aplicações de ventilação industrial. No setor industrial um sensor de velocidade desta natureza poderá ser de grande utilidade na verificação do escoamento em tubulações e dutos de ar e outros gases, na saída de grelhas ou aerofusos, na entrada de captosres em cabinas de pintura e outras aplicações industriais.*

O sensor de velocidade é do tipo fluxo axial com pás perfiladas aerodinamicamente. Sensores importados desta natureza encontram-se comercialmente no mercado brasileiro sendo apropriados para medições industriais de velocidades numa ampla faixa de operação, contudo os custos de tais equipamentos importados são ainda elevados

Palavras-chave: Anemômetro de pás, sensor de velocidades, medições industriais

1. INTRODUÇÃO

Medições de fluxo em líquidos e gases é uma necessidade em muitas aplicações industriais. Existe uma grande quantidade de sensores para tal finalidade. Podem ser classificados como i) sensores diferenciais de pressão; ii) sensores de deslocamento positivo; iii) sensores de velocidade; iv) sensores de fluxo de massa. Nos sensores diferenciais de pressão se incluem placas de orifício, tubos de venturi, nozzles, tubos de pitoto e outros. Os sensores de deslocamento positivo incluem sensores tipo embolo e de engrenagens. Os sensores de velocidade podem ser tipo turbinas, tipo anemômetros de concha, emissores de vórtices, eletromagnéticos e sensores ultrasônicos. Os sensores de fluxo de massa incluem basicamente o tipo Coriolis e tipos térmicos. Cada um destes sensores tem seu próprio princípio de funcionamento e campos de aplicação determinados pelas condições de trabalho

que incluem tipo de fluido, temperaturas, faixas de operação, grau de exatidão requerido e outros fatores de importância.

Nas aplicações de tubulações industriais, ventilação e ar condicionado os sensores de velocidade são amplamente utilizados. No presente projeto tem-se optado para o desenvolvimento de um sensor desta natureza pelas vantagens apresentadas a continuação. Estes instrumentos operam linearmente com respeito à velocidade do fluxo. Guardam uma boa relação entre a exatidão requerida e o baixo custo. Podem ser construídos ampla variedade de materiais que permitem seu uso em muitos processos industriais. De simples construção, alta durabilidade, fácil reparação e manutenção. Apresenta flexibilidade para ser conectado com dispositivos eletrônicos para controle de fluxo e interface computacional. Podem trabalhar numa ampla faixa de pressão e temperatura. Os sensores tipo turbinas tem ampla faixa de utilização nas medições de líquidos e gases. O sensor consiste basicamente num rotor de múltiplas pás montado dentro da tubulação perpendicular ao fluxo. O rotor gira quando o fluido atravessa as pás. A velocidade rotacional é diretamente proporcional ao fluxo e pode ser detectada por um sensor magnético ou uma fotocélula. Os pulsos elétricos podem ser contados e totalizados. O número de pulsos elétricos contados num certo intervalo de tempo são diretamente proporcionais à vazão do fluido. Um tacômetro pode ser acoplado para medir a velocidade de rotação da turbina e determinar a vazão. O eixo é montado em mancais de pequeno atrito.

O trabalho apresenta o desenvolvimento de anemômetro de baixo custo utilizando um sensor ótico de tamanho reduzido. O protótipo está sendo desenvolvido no âmbito acadêmico no Laboratório de Sistemas Fluido Mecânicos (LSFM-PUCRS) em parceria com a empresa Sanvitron a qual está interessada no desenvolvimento tecnológico do protótipo estudando a viabilidade técnico econômica para sua inserção como produto final no mercado de equipamentos de medições industriais. Espera-se que o aparelho seja fabricado e reproduzido com confiabilidade como instrumento para realizar medições de escoamento no interior de dutos, nas aplicações de ventilação industrial. No setor industrial um sensor de velocidade desta natureza poderá ser de grande utilidade na verificação do escoamento em tubulações e dutos de ar e outros gases, na saída de grelhas ou aerofusos, na entrada de captosres em cabinas de pintura e outras aplicações industriais.

2. TIPOS DE SENSORES DE VELOCIDADE

Existem uma grande variedade de sensores de velocidades encontrando-se no texto de Benard (1989) seus princípios de funcionamento. A continuação são assinalados os principais sensores de velocidade utilizados para medir fluidos informação extraídas principalmente do trabalho de Kawakita et al. (1998).

2.1 Tubo de Pitot

O instrumento, baseado no efeito da pressão exercida pelo ar em movimento, consiste de dois tubos concêntricos e curvados em forma de L, e cujo trecho sensor, normalmente o mais curto, é inserido na tubulação e cuidadosamente alinhado na direção frontal do escoamento. O tubo interno é aberto em suas duas extremidades enquanto que o externo é fechado na extremidade que é inserida no escoamento. Este último porém, é perfurado, possuindo pequenas aberturas a uma certa distância a jusante da sua ponta. Para a sua utilização, as

tomadas de pressão de cada tubo devem ser conectadas a um manômetro ou um sensor de pressão diferencial, e cuja indicação será uma medida da pressão dinâmica do ar.

Quando um fluido é levado completamente à situação de velocidade zero em um ponto, este é conhecido como ponto de estagnação, e a pressão deste local é denominada pressão total ou pressão de estagnação. Assim se considerarmos que o escoamento é levado completamente à condição de estagnação no nariz do tubo de Pitot, através da diferença entre as pressões total e estática em um manômetro, e conhecendo-se a massa específica do fluido no local, podemos determinar a sua velocidade.

Este anemômetro trabalha com um incerteza de $\pm 1\%$. Provavelmente, a maior desvantagem de um tubo de Pitot esteja na dificuldade de se medir escoamentos de ar em baixas velocidades. Abaixo de 5m/s o fator de calibração aumenta rapidamente e, se de um lado se torna necessária a aplicação de fatores de correção à medição, as baixas pressões diferenciais e a sua dificuldade de medição se constituem um problema adicional. Acima de 60m/s, em ar, a compressibilidade se constitui em um fator importante a ser considerado.

2.2. Anemômetro de Pás

São normalmente utilizados para medição de ar em dutos de grandes dimensões, em poços de ventilação e, essencialmente, em escoamentos de ar em condições próximas do ambiente. Estes instrumentos operam de um modo similar a uma turbina e são constituídos de uma hélice montada dentro de uma carcaça cilíndrica.

O escoamento de ar faz com que a hélice se movimente proporcionalmente a velocidade do fluido. Na realidade é muito mais utilizado como um medidor de deslocamento de ar do que propriamente um medidor de velocidade. Desse modo, a velocidade é obtida através de medição de uma determinada distância referente ao deslocamento de ar durante um certo intervalo de tempo. Assim sendo, o valor resultante deve ser interpretado como uma velocidade média e não como uma velocidade instantânea do escoamento.

Nas versões atuais existe uma aquisição do sinal por forma eletromagnética ou óptica, além do que a incorporação de um processamento eletrônico do sinal.

Podem ser encontrados em dimensões que variam de 2cm a 40cm de diâmetro, e para a medição de velocidade de ar na faixa de 0,1 a 100m/s, dependendo do modelo. Quanto à exatidão, após uma calibração cuidadosa, podem ser obtidos valores na faixa de $\pm 2\%$, entretanto eventuais desgastes nos mancais ou um desbalanceamento do rotor podem afetar a calibração original, degradando o desempenho do medidor.

2.3 Termoanemômetros

Medem a velocidade de um fluido através da detecção das trocas de calor a partir de um pequeno sensor eletricamente aquecido exposto em um escoamento. Basicamente, existem dois tipos de instrumentos que utilizam este princípio, o anemômetro de fio quente e o de filme quente. O *Termoanemômetro de Fio Quente* pelas dimensões reduzidas e sua alta frequência de resposta, são utilizados para analisar detalhes do escoamento, encontrando bastante aplicação no estudo do regime turbulento. As sondas são delicadas e exigem uma habilidade considerável para a sua utilização, logo é mais usado em pesquisas em laboratório. O fluido faz com que a temperatura do fio mude alterando-se a corrente que é correlacionada com a velocidade.

O *Termoanemômetro de Filme Quente* é uma variação do método de fio quente o qual consiste num pequeno cilindro isolante coberto com um fio metálico fino. Este tipo de sensor é chamado de sensor de filme quente. Pela sua robustez em relação ao sensor de fio quente

tem a possibilidade de sua utilização em ambientes menos controlados, como por exemplo as aplicações de campo.

2.4 Anemômetro a Laser

O LDA-Laser Doppler Anemometer é constituído de um sistema óptico e um processador de sinais. O sistema óptico gera um feixe principal de laser e divide o mesmo em dois que se cruzam posteriormente, determinando um volume de interseção. Este volume, de dimensão reduzida, deve ser posicionado no escoamento em estudo.

Geralmente todos os fluidos contém pequenas partículas de impurezas, tais como partículas de pó, fumaça, algas, bolhas de ar, etc. O anemômetro a Laser utiliza estes contaminantes de cerca de $1\mu\text{m}$ ou menos de dimensão, pequenos o suficiente para seguir com boa aproximação o padrão do escoamento. A luz espalhada por estas partículas que atravessam o volume de controle de interseção dos feixes apresenta um pequeno desvio de frequência devido ao movimento das partículas, sendo este fenómeno chamado de Efeito Doppler. Este desvio é detectado por dispositivos do sistema óptico e acaba sendo relacionado a velocidade do fluido. O LDA requer um investimento relativamente alto e exige uma habilidade considerável para a sua operação, de tal modo que a sua utilização tem se restringido a quase que laboratórios de institutos de pesquisas, universidades e empresas especializadas.

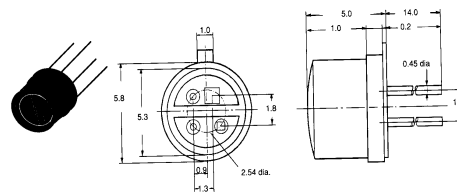
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EM DESENVOLVIMENTO

3.1. Sensor de Velocidades

No LSFM foi iniciada a construção de um protótipo de anemômetro de pás. O rotor é de pás axiais (Fig.1a) perfiladas aerodinamicamente, utilizado geralmente como rotor de ventilador axial e portanto de baixo custo. Um micro-fotosensor é inserido na parte fixa do sensor. Na parte móvel (rotor) é colocado um anel com uma faixa escura e outra faixa clara. O fotosensor (Fig. 1b) detecta a refletividade do anel. O fotosensor é ativado (pulso elétrico) quando um feixe de luz é refletido sobre a área de iluminação e desativado quando não houver reflexão, isto é quando atua na área escura. Os principais aspectos da técnica de trabalho com fotodetecores podem ser achadas nos textos de Juds; (1988) e de Usher (1985).



(a) Rotor do anemômetro



(b) Fotodetector - dimensões em mm

Figura 1. Rotor e fotodetector do sensor de velocidades

O circuito do sensor consta com um emissor infravermelho, um fotodetector e um comparador de tensão que gera pulsos elétricos em sua saída a partir da luz do emissor infravermelho que é refletida pela faixa clara incidindo no fotodetector. Estes pulsos são

proporcionais à rotação do sensor de velocidade, ou, seja, a frequência é proporcional à velocidade do fluido que movimentam as pás do sensor de velocidade.

3.2 Microcontrolador

O circuito de sensoramento microprocessado, trabalhando com a arquitetura da família 80c51 possuindo um microcontrolador, um display de cristal líquido com capacidade de vinte caracteres por linha, composto por duas linhas, e uma interface para conectá-los. O sinal que vem do circuito do sensor passa por um circuito de proteção contra eventuais picos através do uso de diodos zener e vai direto para o microcontrolador. Um diagrama de blocos do sensor de velocidade é apresentado na Fig. 2.

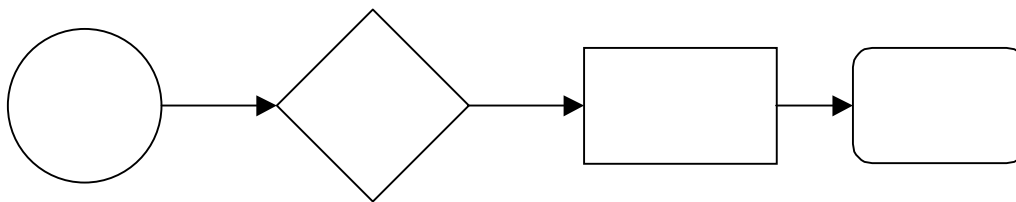


Figura 2. Diagrama do sensor de velocidades

O sensor estando em estado normal, larga em sua saída 5V, que para o microcontrolador significa nível lógico 1; quando o rotor inicia o movimento, o sensor continua em 1, até que inicia a passagem da faixa clara pelo sensor, neste instante o sinal na saída do mesmo é aproximadamente 0V, e neste nível permanece até encerrar a passagem da faixa clara.

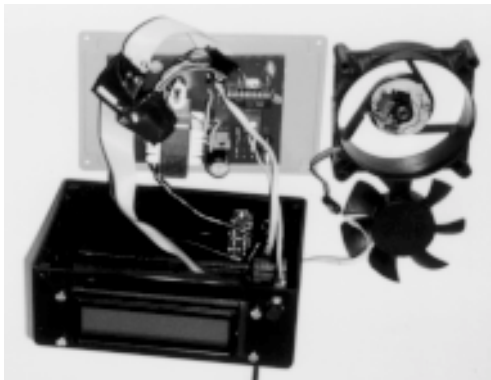
Normalmente é utilizado o método que consiste em correlacionar o número de faixas num determinado tempo com a velocidade do escoamento. No presente trabalho foi implementado um outro método que consiste em medir unicamente a largura de uma única faixa explicado a seguir. Quando inicia-se o nível 0 é disparado um “timer” interno do microcontrolador, e desligado quando o sinal for para 1. Logo é feita uma relação entre o tempo armazenado no “timer” e a velocidade do fluido que passa pelo rotor. Com este procedimento se obtém uma tabela de conversão correlacionando, o valor do timer com as velocidades medidas. Com tal metodologia o microcontrolador 89c2051 permite resultados adequados quando se trabalha com velocidades baixas mas foram encontradas dificuldades para leituras de velocidades altas (de 5 a 12m/s). Contudo foi verificado que utilizando o microcontrolador 89c51 se obteve resultados adequados para a toda faixa de velocidades testada no laboratório. Também esta sendo construído um algoritmo para trabalhar com a equação da curva de calibração, para generalizar a faixa de leitura.

4. RESULTADOS OBTIDOS COM O PROTÓTIPO

Para correlacionar a rotação do sensor com velocidade do escoamento o sensor foi instalado na saída de um túnel de vento de pequeno porte do LSFM. Inicialmente o protótipo foi testado para uma velocidade máxima de 12,0m/s, a qual representa a máxima velocidade atingida pelo túnel de vento. Para medir às velocidades que correlacionam a rotação do protótipo se utilizou um anemômetro digital com faixa de velocidade de 0,4 a 30m/s e com uma resolução de 0,1m/s. Pelos resultados obtidos constatamos que devem ser feitas uma série de modificações e aperfeiçoamento do sistema para obter resultados mais apurados. As principais dificuldades encontradas foram a medição de baixas e altas velocidades. O eixo do rotor gira numa bucha de cobre e pelo atrito do sistema, o sensor apresenta dificuldades para detectar velocidades inferiores a 2,0 m/s. Para solucionar o problema se estuda a possibilidade

de instalar o rotor num eixo que giro sobre um rolamento de atrito mínimo. Para testar o sensor para velocidades maiores que 13m/s está em desenvolvimento um túnel de vento que permitirá atingir velocidades até de 35m/s.

As dimensões do protótipo são de 50x100x150mm. O rotor tem um diâmetro de 65mm. A Fig. 3. apresenta as características do protótipo observando-se o corpo e o rotor.



(a) componentes do protótipo



(b) versão inicial do protótipo

Figura 3. Protótipo do sensor de velocidades em desenvolvimento

5. CONCLUSÕES

O protótipo em desenvolvimento permite realizar medições na faixa de 2,0m/s à 12m/s que são valores verificados no laboratório. Estamos trabalhando agora para ampliar a faixa de leitura, bem como a precisão do sistema, através do levantamento da curva de calibração e parametrização da mesma. Faltam aperfeiçoar a parte mecânica do rotor para diminuir o atrito, o circuito do microprocessador assim como o software de controle. Os resultados obtidos permitiram verificar que o protótipo apresenta uma boa resposta à faixa de velocidades levantadas no laboratório, contudo devem ser feitas uma série de modificações e aperfeiçoamento do sistema para obter resultados mais apurados.

Estão sendo realizados estudos no sentido de definir qual é o melhor método para medir vento, sendo que é levado em conta também, baixo custo de produção, pequenas dimensões do equipamento, praticidade e facilidade de manuseio do mesmo para sua utilização no campo ou em laboratório.

REFERÊNCIAS

- Benard, C.J. 1989, Handbook of Fluid Flowmetering, Trade & Technical Press Limited 1ª Ed. 422pag.
- Juds S. M.; 1988; Photoelectric sensors and controls selections and applications; Ed. Marcel Dekker Inc., 390pag.

- Kamal, A. R. I., 1991, Técnicas de Medidas e Instrumentação em Engenharia – Ed. UNICAMP – Parte V.
- Kawakita K., Casciny, L., Caly J.P.; 1998, Estudo comparativo entre diferentes técnicas de anemometria, MERCOFRIO 98 – Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul
- Usher. M.J.; 1985, Sensors and Tranducers, Ed. MacMillan Publishers Ltd.; 163pag.

DEVELOPMENT OF ANEMOMETER WITH AXIAL ROTOR FOR FLUID FLOW MEASUREMENTS

Summary. The work presents the development of a vane anemometer of low cost. The prototype is being developed in the academic scope in the *Laboratory of Fluid Mechanics Systems* (LSFM-PUCRS) in partnership with the *Sanvitron* small company interested in the technological development of the prototype studying the economic and technician viability in the national market of industrial measurements. One expects that the device can be manufactured and be reproduced with reliability as instrument to carry through measurements of fluid flow in ducts, in the applications of industrial ventilation. In the industrial sector the anemometer could be of great utility in the verification of the draining in tubings and ducts of air and other gases, in the output of grates or aerofusos, in the input of captors in industrial painting cabins and other applications.

Key words: anemometers, vane anemometer, flow measurements, velocity sensors.