

NOVAS TÉCNICAS DE MEDIDAS DE PRESSÃO E FLUXO  
PARA APLICAÇÕES DE VÁCUO.

W.R.Martins

EDWARDS DO BRASIL EQUIPAMENTOS DE ALTO VACUO LTDA  
Rua Bernardo Wrona, 222  
02710 - São Paulo - SP

O presente trabalho vem ressaltar as novas tendências mundiais. Uma nova filosofia, a dos "Transdutores" (pressão, vazão, temperatura), e novas técnicas para se medir esses eventos, ressaltando: Medidor de Membrana capacitiva para medidas de pressão; Espectrômetro de massa tipo quadrupolo para medidas e análise de alto e ultra alto vácuo; Viscosímetro para medidas com alta precisão de alto e ultra alto vácuo; Medidor de fluxo por condutividade térmica. Medida de Pressão e Fluxo.

1: INTRODUÇÃO

Nos dias atuais um pesquisador ou projetista ao se deparar com a necessidade de construir um sistema de vácuo para uma dada aplicação, seleciona os equipamentos ( bombas mecânicas, difusoras, turbos, roots, criogênicas, etc.), levando em consideração o trabalho propriamente dito, as dimensões físicas e o fator econômico. Escolhido estes, tem à frente Instrumentação e, quase que automaticamente, seleciona medidores Pirani e Penning (se for Europeu), Termopar e Ion Gauge (se for America no).

Difícilmente ele se preocupará se esta é a melhor escolha. Quando nós, pessoas da indústria de vácuo, sugerimos outros tipos de instrumentação mais adequados, para esta ou aquela aplicação, eles se tornam um pouco temerosos nas "novidades".

O presente trabalho vem tornar público os últimos avanços na instrumentação para uso em alto vácuo.



Com estes instrumentos o usuário ganha um grau a mais de liberdade, podendo escolher diversos transdutores e usar uma única central de comando.

Seguindo esta filosofia, possuímos hoje os transdutores: Pressão, fluxo, temperatura, PH, tensão, amperagem, etc.

### 3: NOVAS TÉCNICAS DE MEDIDAS DE PRESSÃO

Dividimos hoje os medidores de pressão em dois grupos:

- Medidores Diretos: Os que medem diretamente o fenômeno.
- Medidores Indiretos: Os que medem um efeito, uma característica provocada por este fenômeno.

#### 3:1: Medidores Diretos

Dentro deste grupo encontramos os medidores de pressão:

- Transdutores de Membrana Capacitiva.
- Transdutores de Membrana Strain Gauge.
- Transdutores Indicativos.
- Medidores Bourdons.
- Medidores de Cápsula.

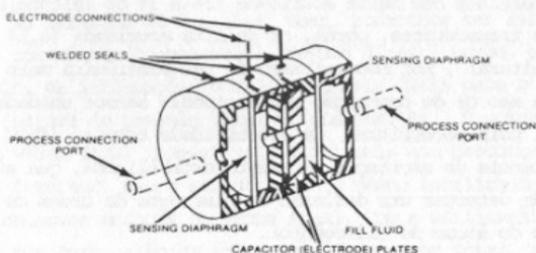
Entre estes os que tiveram uma grande evolução e aceitação foram os "Capacitivos".

#### 3:1:1: Transdutores de Membrana Capacitiva

Estes aparelhos surgiram pela necessidade em alguns processos de se ter um elemento sensor com uma maior vida útil, maior sensibilidade, maior faixa de operação e que pudessem trabalhar em ambientes altamente corrosivos. Seu desenvolvimento foi possível graças à evolução das técnicas de soldagem, metalização e microeletrônica.

Um transdutor de membrana capacitiva consiste de uma placa sensora (um dos lados de um capacitor plano) isolado do meio através de uma membrana sensível ( a outra placa do capacitor plano), formando o conjunto ativo isolado do meio, onde uma variação da pressão exercida pelo meio na membrana irá provocar uma deflexão desta em relação à placa sensora, e se mantermos o dielétrico constante, teremos uma varia-

ção da capacitância proporcional à pressão exercida sobre a membrana.



O circuito eletrônico básico usado para a medida da variação da capacitância, consiste em construir um oscilador "IC" onde um dos capacitores é o próprio elemento sensor. Assim, pela variação da capacitância deste, teremos uma variação da frequência do oscilador, que é convertida de tensão, resultando em uma variação de tensão diretamente proporcional à deflexão da membrana. Com essa técnica temos hoje instrumentos com acuridade entre 3% a 0,05% da leitura e faixa de trabalho de 10.000 a  $10^{-5}$  mmHg.

Podemos mostrar pela Teoria Cinética dos gases que a pressão exercida por uma molécula de gás sobre uma "parede" (membrana sensível) é diretamente proporcional a Energia Cinética do gás, não distinguindo o tipo de gás ou de mistura gasosa.

$$P = \frac{2}{3V} E_k$$

P = Pressão

V = Volume do sistema

$E_k$  = Energia Cinética dos Gases

Por essas características os transdutores de membrana capacitiva são os mais indicados para a seguinte aplicação:

- Medidores de alta precisão  
(Medidores Padrão Primário, Secundário - faixa 1000 a  $10^{-5}$  mmHg).
- Processos altamente corrosivos
- Processos onde haja mudança da composição química da mistura.
- Processos com temperatura elevada.

- Comparação de pressão.

Nota: Os aparelhos com baixa acuridade (3% a 1% da leitura) são os tipos transdutores, porém, os de alta acuridade (0,1% a 0,05% da leitura), por necessitarem de uma eletrônica mais apurada, ainda são os de concepção convencional- sensor unidade de leitura, pois necessitam de estabilidade térmica ( $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ), frequência de excitação altamente estabilizada, que são capazes de detectar uma deflexão do diafragma da ordem de  $1\text{\AA}$  (diâmetro do átomo de hidrogênio).

### 3:1:2: Medidor Quadrupolo

Este outro medidor direto, é um pequeno espectrômetro de massa tipo quadrupolo que na verdade é um analisador de gás residual. Consiste em quatro barras de alta precisão mecânica, isolados mecânica e eletricamente, formando um filtro de massa. Alternadamente aplicamos uma tensão  $U + V \cos 2ft$ , onde:  $U$  é tensão contínua,  $V$  é tensão alternada e " $ft$ " a frequência aplicada. Quando um ion é injetado neste filtro, no seu eixo axial, é atraído em direção a uma das barras, porém, antes de colidir com esta, é atraído para outra barra, tendo assim uma trajetória helicoidal descrita pela equação diferencial de Mathien. Se posicionamos um detector (seja Faraday ou Multiplicador de Eletron) na extremidade oposta à entrada do mesmo, poderemos selecionar qualquer ion, pois para uma " $f$ " teremos somente um determinado ion atravessando o filtro e chegando ao detector. O Ion mais leve ou mais pesado fará uma trajetória diferente não atingindo o detector.

Essa seleção obedece a equação:

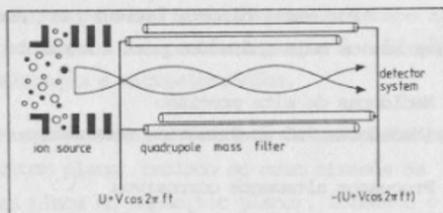
$$M = \frac{V}{7,219 f^2 r^2}$$

Onde  $V$  é a tensão alternada aplicada nas barras ( $V$ )

$f$  = frequência (Mhz)

$r$  = Raio de separação entre as barras (cm)

### Quadrupole Spectrometer



Agora, se variarmos a frequência entre uma determinada faixa, teremos a quantidade de ions da mistura ou a própria grandeza pressão

(quantidade de partículas).

Na faixa de  $10^{-3}$  a  $10^{-10}$  mbar, poderemos ter leituras mais precisas por método convencional (Bayard Alpert) porém, pelo método quadrupolo, as informações obtidas são mais úteis para o usuário que a simples leitura de pressão total do sistema. Ex.: É comum termos um sistema com vácuo final indesejável, e por mais que procuremos vazamento via Leak Detector, não o encontrando ou mesmo localizando-o e sanando-o não obtemos melhora no vácuo final. Com a utilização do quadrupolo, este nos dará, além da informação de pressão total, a informação dos gases residuais da mistura, onde certamente localizaremos a causa do problema em questão.

Uma outra grande vantagem destes medidores é a de podermos utilizá-los como Leak Detector, simplesmente fixando a U.M.A. em um determinado tipo de gás (não somente  $H_2$ ,  $Ar$  ou outros).

A tendência sobre estes equipamentos é de termos cada vez mais equipamentos menores, mais confiáveis e a um custo menor.

Hoje sua dimensão e custo já os tornam competitivos com os Bayard Alpert.

#### Faixa de Trabalho:

Pressão  $10^{-3}$  -  $10^{-14}$  mbar

U.M.A. 0 - 80

0 - 100 ( os mais simples)

0 - 200

Resolução - 30% a 10% do valor.

#### 3:2: Medidores Indiretos

Neste grupo encontramos a maioria dos medidores tradicionais desde  $760$  a  $10^{-8}$  Torr, podendo dividi-los em três sub-grupos.

1º Geração de carga - Bayard Alpert, Penning

2º Transferência de Energia - Pirani, Termopar

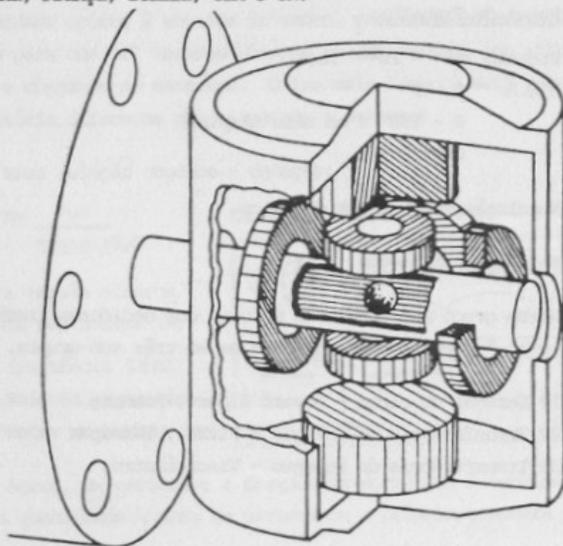
3º Transferência de Momento - Viscosímetro.

3:2:1: Viscosímetro

É do conhecimento geral os dois primeiros grupos, porém devido a procura de um medidor com características de melhor acuridade que os anteriores, foi desenvolvido o Viscosímetro (Spinning Rotor Gas Friction Gauge) 1% da leitura e  $\pm 3 \times 10^{-8}$  torr com faixa de  $10^{-2}$  a  $5 \times 10^{-7}$  torr). Estes medidores se baseiam na desaceleração pela fricção do gás em uma esfera em movimento.

Uma esfera de 4,5 mm é levitada magneticamente e forçada a girar em torno de seu próprio eixo por campos magnéticos, Esta é acelerada em torno de 400 Hz, e quando o campo magnético rotacional é desligado, a frequência de rotação irá diminuir pela fricção com as partículas de gás presente no sistema. Desta forma, o decaimento da frequência da esfera é diretamente proporcional ao meio "viscoso" onde se encontra, e a medida de pressão é executada neste pequeno período de desaceleração da esfera. Analisando esta desaceleração e calibrando o medidor, teremos uma medida da pressão total do sistema com uma alta acuridade.

Sistema este que está sendo utilizado como medidor Padrão Primário e Secundário por diversas entidades ligadas à Metrologia. Na Alemanha, França, Itália, USA e UK.



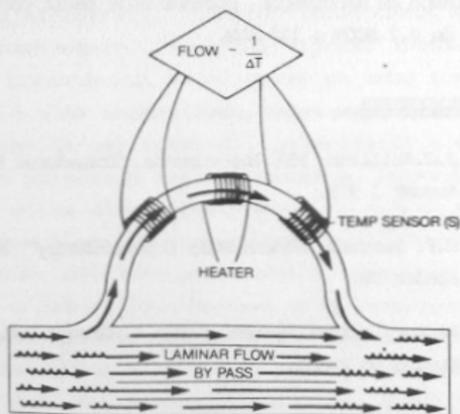
#### 4: Medidor de Fluxo

Inicialmente devemos definir que um medidor de fluxo (ou Transdutor de fluxo) irá medir a taxa de massa por unidade de tempo de um determinado material (no nosso caso, gás).

##### 4:1: Medidor de fluxo térmico

Medidor de fluxo térmico baseia-se na medida da condutividade térmica de um determinado gás ao longo de um tubo. Este método utiliza um tubo "U" (elemento sensor) que é aquecido a uma temperatura conhecida na sua parte central. Se medimos a temperatura nas extremidades desse tubo, esta terá valores diferentes quando da passagem de um gás, pois este irá se aquecer ao passar pela região central.

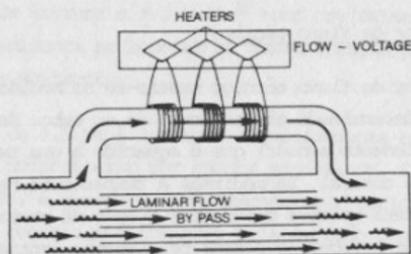
Por essa técnica teremos o fluxo inversamente proporcional à variação da temperatura.



Por esse método surgiram diversos medidores de fluxo, porém, por necessitarem de um elemento sensor capilar, e em forma de "U", é frequente o seu entupimento por condensação ou deposição de detritos.

Para solucionar esse problema e melhorar o tempo de respostas, os novos medidores de fluxo térmico utilizam elementos sensores planos e aquecidos em três pontos. Esta técnica consiste em criamos uma distribuição de temperatura conhecida ao longo do elemento sensor. Estes

três aquecedores são alimentados por três fontes de força individuais e auto balanceadas ligadas em ponte. A medida de fluxo propriamente dita é obtida pela medida da tensão (potência) requerida para manter a distribuição de temperatura constante.



Com esta técnica conseguimos melhorar o tempo de resposta (hoje da ordem de 500 ms), maior linearidade (facilidade eletrônica) e diminuir o tempo de manutenção, podendo hoje medir com boa confiabilidade fluxos de 0,2 SCCM a 100 SLM.

#### BIBLIOGRAFIA

1. J.J.Sullivan, MKS Instruments, Transducer Technology, July/August 1.979.
2. G.P. Barnard, "Modern Mass Spectrometry" Inst of Physics London UK.
3. Factory Mutual System, Class I, Groups C,D, Division 1, Explosion Proof.
4. Kennard, EH, Kinetic Theory of Gases with an Introduction to Statistical Mechanics, McGraw Hill Book Company, New York, 1.938.
5. J.F. O'Hanlon, A user's Guide to Vacuum Technology, J. Wiley & Sons, New York, 1.980.
6. G.Comsa Et Al, Proc. 7. Inst Vacuum Congress, Viena, 1.976 Vol 1 - 153-156