

MEDIÇÃO DE VAZÃO – CONCEITOS, MÉTODOS DE MEDIDAS E TRANSMISSORES DE VAZÃO.

Geovane Resende Pinto, Giovanna Aquino Melo, Giselle Ferreira, Kelterin Cristine dos Santos Correa, Rafaela Fernanda Pereira de Souza, Thaís Monique Ribeiro Borges.

Universidade Estadual de Minas Gerais
Campos Divinópolis- Av. Paraná, 3001, Jardim
Belvedere, Divinópolis, Minas Gerais.

Resumo: *A precisão na determinação do rendimento de equipamentos e processos é fundamental para o comissionamento, rendimento e também evitando desperdícios, pois, valores de rendimento abaixo do esperado podem inviabilizar economicamente o empreendimento. O objetivo do presente trabalho é apresentar os métodos de medição de vazão utilizados no mercado atual, uma vez que a precisão do cálculo do rendimento depende fortemente dos métodos utilizados. São analisados os métodos de: vazão volumétrica, vazão mássica, medição por variação de pressão variável e constante e medidores especiais como: medidores magnéticos com eletrodos, medidores especiais tipo turbina, efeito coriolis, tipo vortex e ultrassom.*

Palavras chave: *rendimento, vazão, medidores especiais, métodos de medição.*

Abstract: *The accuracy in determining the performance of equipment and processes is critical to the commissioning, performance and avoiding waste, therefore, yield values below the expected cost may derail the project. The objective of this study is to present the flow measurement methods used in the current market, as the yield calculation accuracy depends heavily on the methods used volumetric flow, mass flow, measured by variation of variable and constant pressure and special gauges such as: the methods are analyzed: magmeters with electrodes, special turbine meters, coriolis effect, vortex type and ultrasound.*

Keywords: *yield, flow, special gauges, measuring methods.*

1. INTRODUÇÃO

A vazão é uma grandeza muito importante nos processos industriais. Controlar a quantidade de fluxo de líquidos, gases e vapores para fins contábeis e também para a verificação do rendimento do processo. Conforme a realidade do processo, os métodos de medição de vazão são adequados a cada necessidade. Estes estão disponíveis no mercado com diversas tecnologias de medição de vazão.

A escolha do instrumento para medição de vazão mais adequada para o processo depende de vários fatores. Dos quais podemos destacar: A exatidão necessária para a medição; o conhecimento do tipo de fluido (líquido, gás, vapor) e suas propriedades, bem como as características de escoamento; a condutividade elétrica, transparência, etc. As condições termodinâmicas: por exemplo, níveis de pressão e temperatura nos quais o medidor deve atuar. Deve ser analisado o espaço físico disponível e o custo.

A vazão é a quantidade volumétrica ou gravimétrica de determinado fluido que passa por uma determinada seção de um conduto que pode ser livre ou forçado por uma unidade de tempo. Ou seja, vazão é a rapidez com a qual um fluido escoar.

2. VAZÃO VOLUMÉTRICA.

É definida como sendo a quantidade em volume que escoar através de uma seção em um intervalo de tempo considerado. É representado pela letra Q, ou por Q_v, e expressa pela seguinte equação: Onde: v = volume t = tempo. As unidades de vazão volumétricas mais utilizadas são: m³/s, m³/h, l/h, l/min, GPM (galão por minuto).

Na medição de vazão volumétrica é importante referenciar as condições básicas de pressão e temperatura, principalmente para gases e vapor, pois o volume de uma substância depende da pressão e da temperatura a que está submetido.

$$Q_v = \frac{v}{t}$$

3. VAZÃO MÁSSICA.

Nas indústrias de laticínios e de processamento de alimentos, entre outros, há grande necessidade de obedecer rigorosamente os padrões sanitários impostos pelas leis estaduais e federais, nesse contexto é imprescindível a medição instantânea da vazão de massa ou a vazão total de massa de um gás ou de um líquido.

A vazão mássica nada mais é do que a quantidade em massa de um fluido que escoar em uma tubulação por um determinado tempo e é representada pela expressão Q_m e dada pela seguinte equação:

$$Q_M = \frac{m}{t}$$

A vazão mássica pode ser dada em quilogramas, toneladas, libras, entre outras.

4. MEDIÇÃO POR VARIAÇÃO DE PRESSÃO VARIÁVEL E CONSTANTE.

O princípio de funcionamento baseia-se no uso de uma mudança de área de escoamento, através de uma redução de diâmetro ou de um obstáculo, ou ainda através de uma mudança na direção do escoamento. Estas mudanças de área ou de direção provocam uma aceleração local do escoamento, alterando a velocidade e, em consequência, a pressão local. A variação de pressão é proporcional ao quadrado da vazão. São medidores já bastante conhecidos, normalizados e de baixo custo. Estima-se que abrangam 50% de utilização na medição de vazão de líquidos.

São compostos de um elemento primário e um elemento secundário. O elemento primário está em contato direto com o fluido (parte molhada), resultando em alguma forma interação. Esta interação pode ser a separação do jato do fluido, aceleração, queda de pressão, alteração da temperatura, formação de vórtices, indução de força eletromotriz, rotação de *impellers*, criação de uma força de impacto, criação de momentum angular, aparecimento de força de Coriolis, alteração no tempo de propagação e muitos outros fenômenos naturais. O elemento secundário tem a função de medir a grandeza física gerada pela interação com a vazão do fluido e transformá-la em volume, peso ou vazão instantânea. O elemento secundário é finalmente ligado a um instrumento receptor de display, como indicador, registrador ou totalizador.

Tipos de Medidores

A classificação dos medidores de vazão se baseia somente no tipo do elemento primário ou no princípio físico envolvido. Os medidores de vazão podem ser divididos em dois grandes grupos funcionais:

1. Medidores de quantidade
2. Medidores de vazão instantânea.

Os medidores de vazão podem ser ainda classificados sob vários aspectos, como:

1. Relação matemática entre a vazão e o sinal gerado, se linear ou não linear;
2. Tamanho físico do medidor em relação ao diâmetro da tubulação, igual ou diferente;
3. Fator K, com ou sem.
4. Tipo da vazão medida, volumétrica ou mássica,
5. Manipulação da energia, aditiva ou extrativa.

Podemos classificar os medidores de vazão resumidamente:



Quadro 1: Classificação de medidores de vazão.

5. MEDIDORES ESPECIAIS.

5.1. Medidores de Vazão Magnéticos

O medidor de vazão magnético, também conhecido como eletromagnético ou por tensão induzida, é um medidor de vazão volumétrica que utiliza um princípio de medição antigo (lei de Faraday). Este tipo de medidor é utilizado em diferentes setores industriais, por exemplo: medição de vazão de iogurte (produtos lácteos), xaropes de glucose com alta concentração (indústria farmacêutica), cerveja e derivados, polpa de celulose, polpa de minério, ácidos em geral, efluentes industriais, esgoto, lamas, pastas, etc. Para que ele possa ser a melhor opção basta que o líquido possua uma condutividade elétrica mínima admitida, dependendo de sua pressão, temperatura e velocidade de escoamento na tubulação do processo, com certeza a vazão desse líquido poderá ser medida precisamente, conforme a necessidade do usuário.

A lei de Faraday utilizada para medidores de vazão determina que o movimento do líquido (o qual deverá possuir uma condutividade elétrica mínima admitida) através do campo magnético induz uma força eletromotriz que atravessa o líquido num sentido perpendicular ao campo magnético, sendo essa força eletromotriz diretamente proporcional à sua velocidade de escoamento (figura 1).

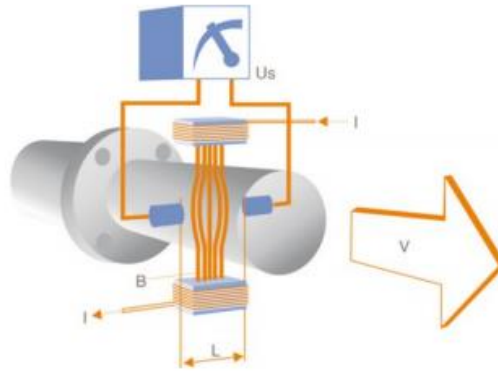


Figura 1: Princípio de funcionamento de um medidor de vazão
Fonte: Google imagens

Por meio de dois eletrodos inseridos em um plano perpendicular ao campo magnético, torna-se possível a medição da força eletromotriz induzida por meio de um milivoltímetro. Essa força eletromotriz induzida (dada em milivolts), não é afetada pela temperatura, viscosidade, pressão, turbulência, densidades específicas-relativa e condutividade elétrica do líquido medido, desde que a condutividade elétrica esteja acima do valor mínimo exigido.

De qualquer forma, é preciso uma observação cuidadosa durante a engenharia de aplicação do medidor de vazão magnético, quanto aos limites de operação relativos à temperatura, pressão e velocidade de escoamento, além da condutividade elétrica mínima exigida do líquido a ser medido.

No medidor de vazão magnético, o seu campo magnético poderá ser gerado por um ímã permanente ou por bobinas excitadas por corrente alternada ou contínua. Somente em casos especiais, os ímãs permanentes são aplicados como, por exemplo, em casos de medição de vasos sanguíneos, na área médica. As bobinas são preferidas para gerar o campo magnético, por não apresentarem o efeito de polarização com a formação de sais isolantes depositados nos eletrodos, interrompendo o circuito de medição. Atualmente, grande parte das bobinas dos medidores de vazão magnéticos é energizada por tensão contínua pulsante, mas também existem alguns medidores magnéticos em que suas bobinas são energizadas por tensão alternada filtrada e fornecida pelo próprio conversor do medidor.

5.2. Medidores de Vazão de Turbina:

Os medidores de vazão do tipo turbina é um medidor de vazão volumétrica e são utilizados para medir líquidos industriais e derivados de petróleo de baixa viscosidade, na medição de gases como GLP e gás natural. Este tipo de medidor se destaca pela alta precisão sendo muito utilizado em medição de transferência de custódia e carregamento de caminhões tanque e processos de dosagem. Existe uma ampla série de modelos disponíveis atendendo a maioria dos processos nas Indústrias Petroquímica, química e alimentícia.

O medidor de vazão tipo turbina prove um sinal de saída igual a um trem de pulsos, com frequência linearmente proporcional à vazão do fluido. O fluido passa no interior da turbina, fazendo girar um rotor em uma velocidade angular que é proporcional à velocidade do fluido e, portanto, proporcional linearmente à vazão do fluido. Um detector eletromagnético converte a rotação do rotor em um sinal usável, ou em um trem de pulsos escalonados ou no sinal padrão de 4 a 20 mA cc. Há turbinas cujos totalizadores ou indicadores são acionados mecânica e diretamente pela vazão. Na turbina clássica, o eixo de rotação da turbina é longitudinal ao sentido da vazão do fluido. As lâminas da turbina, de material ferromagnético, induzem o trem de pulsos, quando corta o campo magnético. Uma bobina externa com um magnético detecta o trem de pulsos. Há também turbinas cujo rotor gira tangencialmente à vazão. Há medidores que possuem o fator K, que relaciona a vazão com a grandeza física gerada. Segundo Marco Antônio Ribeiro (1999) a desvantagem desta classe de medidores é a necessidade de outro medidor padrão de vazão para a sua aferição periódica.

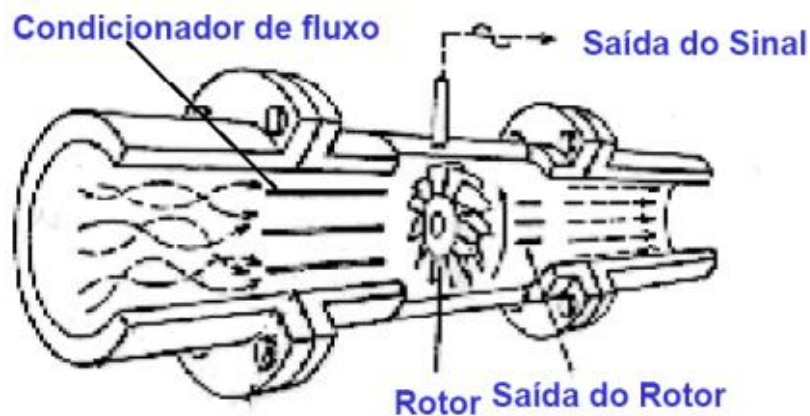


Figura 2: Medidor de vazão tipo turbina
Fonte: Google imagens

5.3. Medidor de vazão por Efeito Coriolis:

Este medidor permite a medição de vazão tanto mássica como volumétrica, com altas pressões e temperaturas. Sua exatidão, rangeabilidade e estabilidade o fazem uma das soluções mais confiáveis e completas do mercado, combinado também com vários materiais dos tubos de medição para suportar agressão corrosiva e abrasiva. Este medidor é imune a variações da densidade, viscosidade e pressão. Não necessita de trechos retos, justificando as aplicações onde o medidor fica logo após curvas, válvulas, bombas, etc.

Quando um fluido qualquer é introduzido no tubo em vibração, o efeito do Coriolis se manifesta causando uma deformação, isto é, uma torção, que é captada por meio de sensores magnéticos e gera uma tensão em formato de ondas senoidais. As forças geradas pelos tubos criam uma oposição à

passagem do fluido na sua região de entrada (região da bobina), e em oposição auxiliam o fluido na região de saída dos tubos. O atraso entre os dois lados é diretamente proporcional à vazão mássica. Um RTD é montado no tubo, monitorando a temperatura deste, a fim de compensar as vibrações das deformações elásticas sofridas com a oscilação da temperatura.

O transmissor é composto de um circuito eletrônico que gera um sinal para os tubos de vazão, alimenta e recebe o sinal de medida, propiciando saídas analógicas de 4 a 20 mA de frequência (0 à 10 mil Hz) e até digital RS 232 e/ou RS 485.

Estas saídas são enviadas para instrumentos receptores que controlam bateladas, indicam vazão instantânea e totalizada, ou para PLCs, SDCDs, etc.

Podemos encontrar o modelo com tubo reto, neste modelo, um tubo de medição oscila sobre o eixo neutro A-B sendo percorrido por um fluido com velocidade “v”.

Entre os pontos A-C as partículas do fluido são aceleradas de uma baixa para uma alta velocidade rotacional. A massa destas partículas aceleradas geram as forças de Coriolis (F_c) oposta a direção de rotação. Entre os pontos C-B as partículas do fluido são desaceleradas o que leva a força de Coriolis no mesmo sentido da rotação. A força de Coriolis (F_c), a qual atua sobre as duas metades do tubo com direções opostas, é diretamente proporcional á vazão mássica.

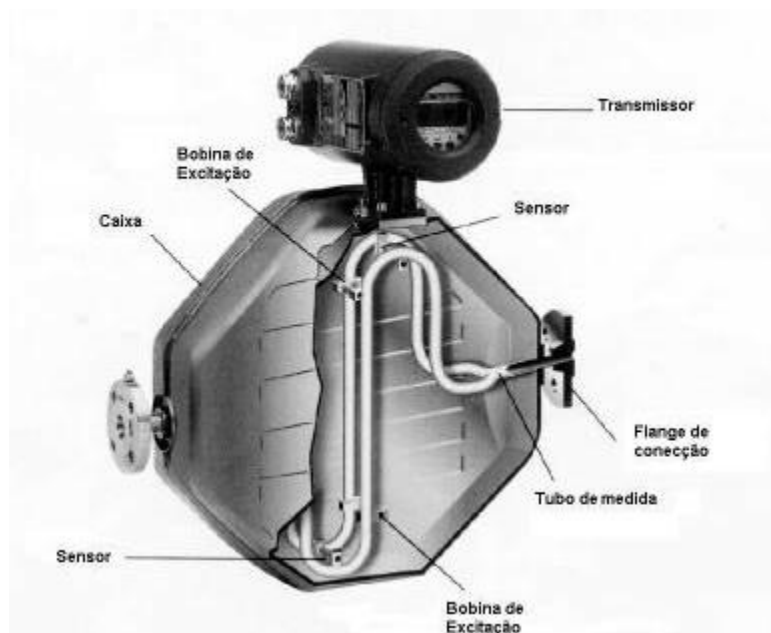


Figura 3 - Medidor por efeito Coriolis.

Fonte: Google Imagens

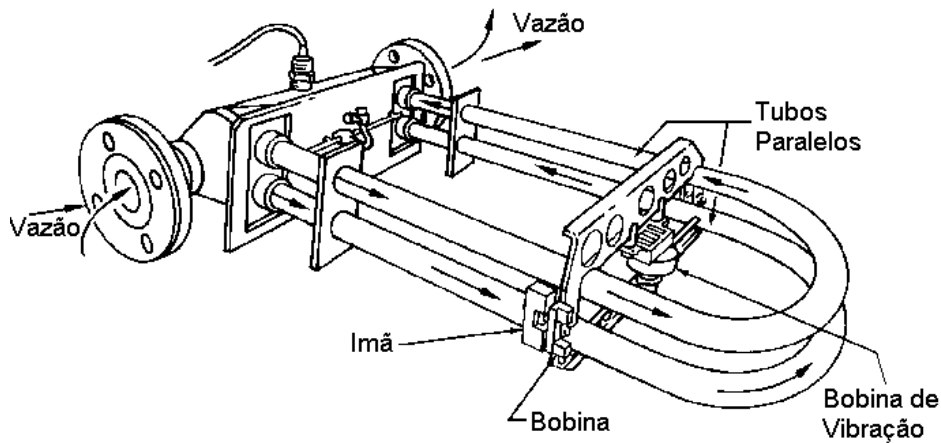


Figura 4 - Medidor por efeito Coriolis.
Fonte: Google Imagens

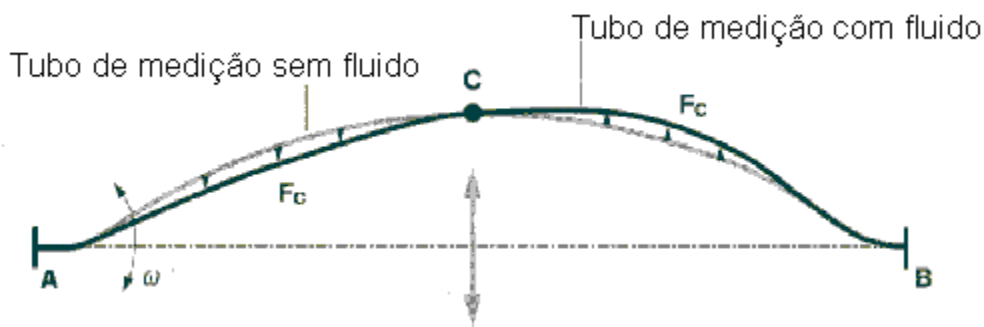


Figura 5 – Curva de medição do medidor por efeito Coriolis.
Fonte: Google Imagens

5.4. Medidor tipo Vortex

Quando um anteparo de geometria definida é colocado de forma a obstruir parcialmente uma tubulação em que escoar um fluido, ocorre a formação de vórtices; que se desprendem alternadamente de cada lado do anteparo, como mostrado na figura 7. Este é um fenômeno muito conhecido e demonstrado em todos os livros de mecânica dos fluidos.

Os vórtices também podem ser observados em situações frequentes do nosso dia a dia, como por exemplo: movimento oscilatório das plantas aquáticas, em razão da correnteza, as bandeiras flutuando ao vento, as oscilações das copas das árvores ou dos fios elétricos quando expostas ao vento. A frequência de geração de vórtices não é afetada por variações na viscosidade, densidade, temperatura ou pressão do fluido.



Figura 6 – Medidor tipo Vortex
Fonte: Google Imagens

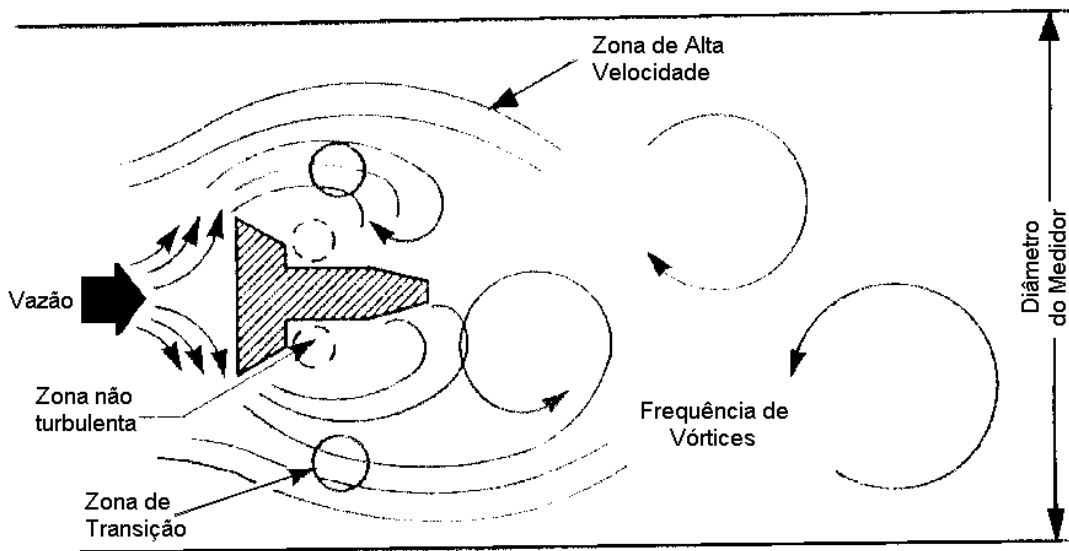


Figura 7 – Medidor tipo Vortex.
Fonte: Google Imagens

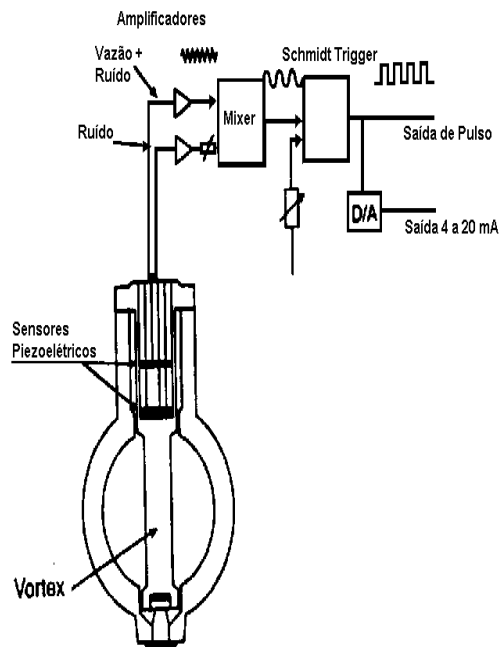


Figura 8 – Medidor tipo vortex.
 Fonte: Google Imagens

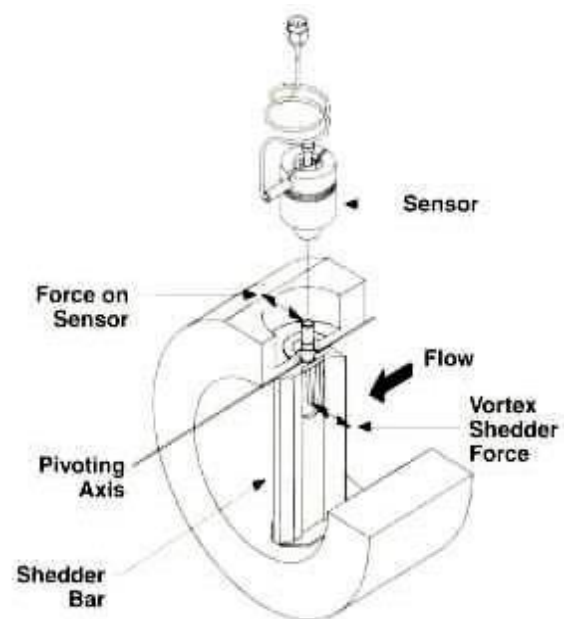


Figura 9 – Medidor tipo vortex
 Fonte: Google Imagens

Método de detecção dos vórtices:

As duas maiores questões referentes ao desenvolvimento prático de um medidor de vazão, baseado nos princípios anteriormente mencionados, são:

- A criação de um obstáculo gerador de vórtices (vortex shedder) que possa gerar vórtices regulares e de parâmetros totalmente estabilizados. Isto determinará a precisão do medidor.
- O projeto de um sensor e respectivo sistema eletrônico para detectar e medir a frequência dos vórtices. Isto determinará os limites para as condições de operação do medidor.
- Vortex shedder - Numerosos tipos de vortex shedder, com diferentes formas, foram sistematicamente testados e comparados em diversos fabricantes e centros de pesquisa. Um shedder com formato trapezoidal foi o que obteve um desempenho considerado ótimo.

O corte trapezoidal proporciona excelente linearidade na frequência de geração dos vórtices, além de extrema estabilidade dos parâmetros envolvidos.

5.5. Medidores Ultrassônicos:

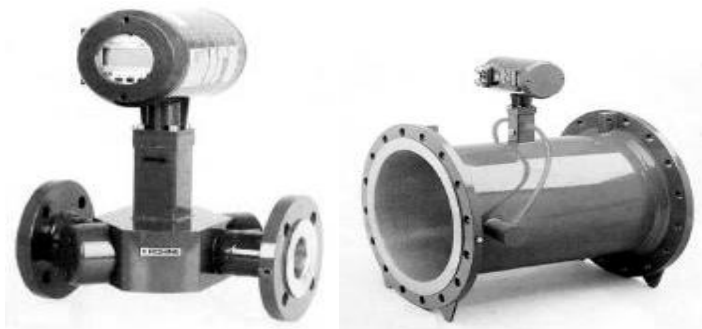


Figura 10 - Medidor ultrassônico intrusivo
Fonte: Google Imagens

Medidores de vazão baseados na tecnologia de ultrassom foram desenvolvidos na segunda metade do século XX para fins industriais. O uso do ultrassom é relativamente antigo para inspeção não destrutiva, limpeza, localização dentre outras aplicações. Para a medição de vazão, o ultrassom vem sendo aplicado desde os anos 1960. Com um início dificultado por uma publicidade incorreta por parte de fabricantes inexperientes, a comercialização de bons medidores ultrassônicos só se firmou 20 anos depois.

Crescentemente esta técnica vem adquirindo grande importância na medição de vazão em indústrias químicas e petroquímicas. Um dos motivos se deve ao fato de que a medição de vazão com ultrassom é feita sem a necessidade de qualquer obstrução mecânica do fluido. Desta forma, não há a criação de turbulência ou a perda de carga, causada pelos medidores de vazão como vortex, placas de orifício, turbina, entre outros. Além disso, possibilita a medição de vazão de fluidos altamente corrosivos líquidos não condutores e líquidos viscosos. A Figura ilustra um medidor ultrassônico utilizado em meio industrial.



Figura 11 - Medidor ultrassônico intrusivo
Fonte: Google Imagens

Assim como um feixe de luz, uma importante característica da onda de ultrassom está no fato

desta poder ser direcionada, estando também sujeita aos fenômenos de refração e reflexão. Superior a luz, o ultrassom se propaga em meios sólidos, líquidos e gasosos. Graças a estas características, que permitem a focalização e a penetração, os instrumentos ultrassônicos podem medir a vazão de forma não intrusiva. Em outras palavras é possível medir a vazão amarrando os transdutores externamente a tubulação com uma cinta apropriada, como mostra a figura. Esta é uma característica única entre os medidores de vazão industriais.

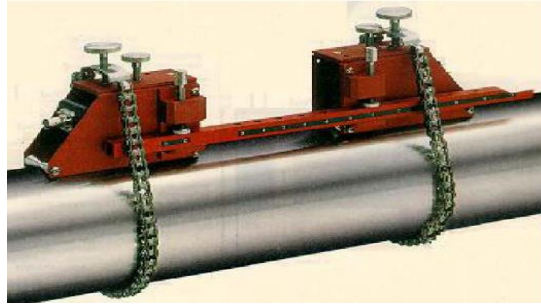


Figura 12 - Medidor ultrassônico não intrusivo
Fonte: Google Imagens

Além das vantagens já mencionadas, os medidores de vazão ultrassônicos possuem ainda:

- a) Precisão relativamente elevadas (0,3% do fim de escala);
- b) Maior extensão da faixa de medição como saída linear;
- c) Apresentam garantia elevada, pois não possuem peças móveis em contato com o fluido, não estando sujeito a desgaste mecânico;
- d) Possibilita medição em tubos com diâmetros que vão de 1 a 60 polegadas;
- e) A medição é essencialmente independente da temperatura, da densidade da viscosidade e da pressão do fluido.

Como desvantagem pode-se citar o custo elevado na aplicação em tubos de pequenos diâmetros.

O princípio de funcionamento do medidor de vazão ultrassônico é fundamentado no princípio da propagação do som em um fluido. Desta forma, os pulsos sonoros são gerados e transmitidos no fluido por um transdutor piezoelétrico reversível, que transforma um sinal elétrico em uma frequência de vibração mecânica e vice-versa.

Quando um pulso ultrassônico é dirigido a favor do fluxo, sua velocidade é adicionada a velocidade da corrente. Quando um pulso é dirigido contra o fluxo, sua velocidade é desacelerada pela velocidade da corrente. Baseado nessas informações é possível determinar a vazão de fluidos por ultrassom.

Entre muitas técnicas de medição de vazão por ultrassom, duas tem aplicações difundidas na instrumentação industrial:

- a) Medidores a efeito doppler;

b) Medidores de tempo de trânsito.

5.6. Medidores a efeito DOPPLER:

O efeito Doppler foi descoberto em 1842 e é usado atualmente em sistemas de radar e sonar. Na aplicação industrial, quando um raio ultrassônico é projetado em um fluido, parte da energia é refletida de volta para o sensor. O sinal recebido pelo sensor difere do sinal transmitido. Isso ocorre, pois o som é espalhado pelo fluido em movimento. Sendo assim, tem-se um desvio na frequência, que é chamado de desvio de frequência Doppler. Esse desvio é diretamente proporcional à vazão do fluido.

5.7. Medidores de tempo de trânsito

O medidor de vazão ultrassônico a tempo de trânsito mede o tempo gasto pela energia ultrassônica ao atravessar a seção de um tubo, dirigindo-se ora a favor, ora contra o fluxo do fluido dentro desse tubo. Os tempos de propagação da onda, a favor e contra o fluxo, são diferentes.

Isso ocorre, pois quando a onda viaja a favor da vazão, a sua velocidade é levemente aumentada e, quando viaja contra, sua velocidade é levemente diminuída. Essa diferença de tempo de trânsito da onda é proporcional à vazão do fluido.

CONVERSÃO DE UNIDADES

UNIDADES DE VAZÃO VOLUMÉTRICA

PARA OBTER O RESULTADO EXPRESSO EM	m ³ /h	m ³ /min	m ³ /s	GPM	BPH	BPD	pé ³ /h	pé ³ /min
MULTIPLICADOR POR								
O VALOR EXPRESSO EM								
m ³ /h	1	0,016667	0,00027778	4,40287	6,28982	150,956	35,314	0,588579
m ³ /min	60	1	0,016667	264,1721	377,3892	9057,34	2118,8802	35,3147
m ³ /s	3600	60	1	15.850,33	22.643,35	543.440,7	127.132,81	2118,884
Galão por minuto GPM	0,22712	0,0037854	63,09.10 ⁻⁶	1	1,42857	34,2857	8,0208	0,13368
Barril por hora BPH	0,158987	0,0026497	44,161.10 ⁻⁶	0,7	1	24	5,614583	0,0935763
Barril por dia BPD	0,0066245	0,00011041	1,8401.10 ⁻⁵	0,029167	0,041667	1	0,23394	0,0038990
pé ³ /h	0,0283168	0,00047195	7,8657.10 ⁻⁵	0,124676	0,178108	4,2746	1	0,016667
pé ³ /min	1,69901	0,028317	0,00047195	7,480519	10,686	256,476	60	1

Quadro 2: Unidades de vazão volumétrica.

6. CONCLUSÃO.

Na história, grandes nomes deixaram suas contribuições para aperfeiçoar as técnicas de medições, e na medição da vazão não foi diferente. Em 1502, Leonardo Da Vince observou que a quantidade de água por unidade de tempo que escoava em um rio era a mesma em qualquer parte. Mas o desenvolvimento de dispositivos práticos para mensurar tal grandeza, só foi possível com o surgimento da era industrial e o trabalho de pesquisadores como Bernouli, Pitot e outros. Para determinar a aplicação correta de um medidor de vazão é necessário conhecer as características do fluido, instalação e condições de operação. Devido a uma enorme oferta de medidores de vazão com aplicações e tecnologias das mais diversificadas, a escolha do medidor apropriado é relativamente simples nas aplicações mais comuns, porém, o principal fator que dificulta esse processo é a constante evolução dos medidores, influenciando diretamente no desempenho e custos do equipamento. Conclui-se, portanto, que os medidores de vazão foram uma grande evolução que nos permite conhecer melhor o processo e torna-lo mais viável economicamente e tecnicamente. O medidor de vazão se tornou indispensável para os processos, principalmente industriais.

7. BIBLIOGRAFIA

SMAR ARTIGOS TÉCNICOS. Disponível em:

<<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index40.html>> Acesso em 02/09/2016.

SEISSON Harold e. Instrumentação industrial. Hemus, 2008. 69. Edição 1.

CONTROLE DE PROCESSOS. Disponível em:

<http://www.professores.uff.br/controldeprocessos-eq/imagens/stories/Aula05_Instrumen_Vazão1sem2014.pdf> Acesso em 01/09/2016.

UFRGS. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/medterm/trabalhos/trabalhos-2011/Bruno_Diego_Marcos.pdf> Acesso em 01/09/2016.

DE JESUS, João Carlos Cândido. PASETI, Giovani. Medidores Ultrassônicos. Universidade Estadual De Campinas, 2007.