

Sistemas de Medição de Vazão

custo

Profª Ninoska Bojorge

Introdução

Medição de Vazão

Na maioria das operações realizadas nos processos industriais é muito importante efetuar a medição e o controle da quantidade de fluxo de líquidos, gases e até sólidos granulados, não só para fins contábeis, como também para a verificação do rendimento do processo



Vazão: Definição

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 esco.

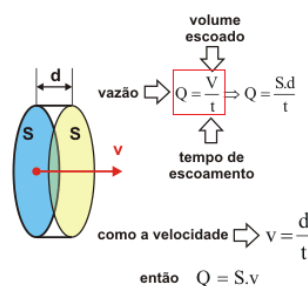
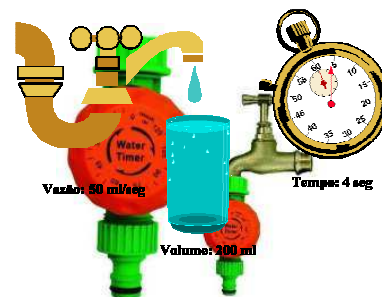
Equação:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Vazão Volumétrica é a quantidade de **volume** de um fluido que esco por um duto em unidade de **tempo**

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

Vazão Gravimétrica é a quantidade de **massa** de um fluido que esco por um duto em unidade de **tempo** considerada



3

Tabela de Conversão

Table 1 Volumetric Liquid Flow Units

Liter/second	Liter/minute	Meter cube/hour	Foot cube/minute	Foot cube/hour	US gallons/minute	US barrels (oil)/day
L/sec	L/min	M ³ /hr	ft ³ /min	ft ³ /hr	gal/min	US brl/d
1	60	3.6	2.119093	127.1197	15.85037	543.4783
0.016666	1	0.06	0.035317	2.118577	0.264162	9.057609
0.277778	16.6667	1	0.588637	35.31102	4.40288	150.9661
0.4719	28.31513	1.69884	1	60	7.479791	256.4674
0.007867	0.472015	0.02832	0.01667	1	0.124689	4.275326
0.06309	3.785551	0.227124	0.133694	8.019983	1	34.28804
0.00184	0.110404	0.006624	0.003899	0.2339	0.029165	1

Table 2 Mass Flow Units

Kilogram/hour	Pound/hour	Kilogram/second	Ton/hour
kg/h	lb/hour	kg/s	t/h
1	2.204586	0.000278	0.001
0.4536	1	0.000126	0.000454
3600	7936.508	1	3.6
1000	2204.586	0.277778	1

Unidades mais comuns :

- GPM: galão por minutos (1 GPM = 3.785 L/min)
- CFM : pé cubico por minutos

4

Aplicações:

- Este tipo de medição é utilizada nas seguintes aplicações:
 - ▶ Para garantir que determinados ingredientes são fornecidos a uma taxa adequada durante o processo de mistura.
 - ▶ Para evitar que a certa vazão (elevada), que pode causar:
 - Aumento da Pressão a nível perigoso
 - Temperatura excessiva
 - Vazamentos de fluidos

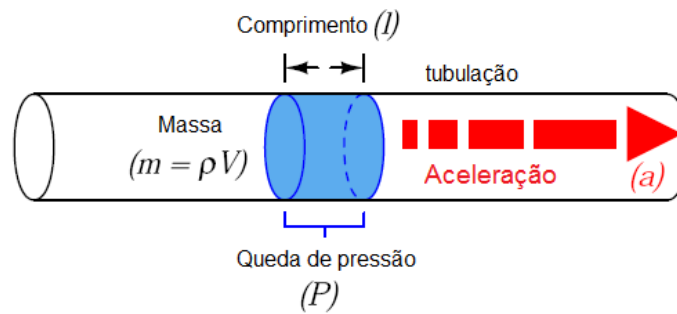
5

Critérios para escolha de medidores

- Vazão Operacional
- Características do Fluido
- Características de Instalação
- Características de Operação
- Exatidão
- Rangeabilidade
- Facilidades de Comunicação
- Custo
- Facilidade de Instalação e Manutenção
- Confiabilidade

6

Conceitos Gerais



Segunda Lei de Newton

$$F = m \cdot a = \rho \cdot V \cdot a \quad (1)$$

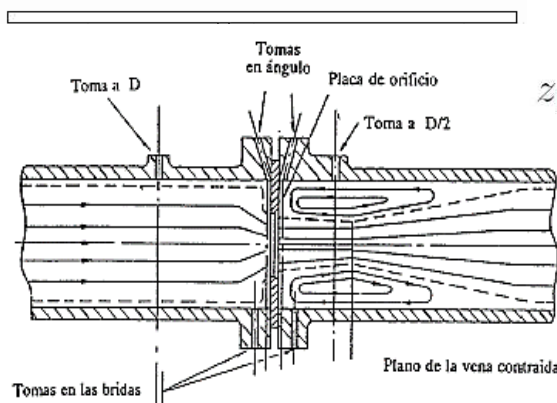
$$\frac{F}{A} = \rho \cdot \frac{V}{A} \cdot a \quad (2)$$

$$P = \rho \cdot l \cdot a \quad (3)$$

7

Conceitos Gerais

Equação de Bernoulli



$$z_1 \rho g + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_1^2 = \frac{P_3}{\rho g} + \frac{1}{2g} v_3^2 + z_3 \rho g + \Sigma f \quad (4)$$

onde f representa a perda por fricção total que é geralmente assumido desprezível. Esta equação pode ser simplificada e rearranjado para dar:

$$F_1 = A_1 V_1 = C_{meter} Y A_3 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_3)}{\rho(1 - A_3^2 / A_1^2)}} \quad (5)$$

C_{meter} , é responsável por todos as não-idealidades, incluindo as perdas por atrito, e depende do tipo de medidor, a relação entre as áreas das secções transversais e do número de Reynolds. O fator de compressibilidade, Y , responsável pela expansão dos gases compressíveis, que é de 1,0 para fluidos incompressíveis.

Estes dois fatores podem ser estimados a partir de correlações (ASME, 1959; Janna, 1993) ou pode ser determinada por meio de calibragem. A equação (5) é usado para a concepção de medidores de fluxo de cabeça para as condições específicas de operação das plantas.

8

Tipos de Medidores de Vazão

	Sistema	Medidor
Medidores de vazão volumétrica	Pressão diferencial (deprimogênio) - Medidores conectados a tubo U ou a elementos de redução ou diafragma	Placa Orifício
		Tubo Venturi
		Tubo Pitot
		Tubo Annubar
	Área variável	Rotâmetros
	Velocidade	Turbina
		Ultrassônico
	Tensão induzida	Magnético
	Deslocamento (positivo)	Roda oval, helicoidal
Redemoinho (Vortex)	Medidor de frequência	
Força	Placas de impacto	
Medidores de vazão mássica	Térmico	Diferença de temperatura em sondas de resistência
	Coriolis	Tubo em vibração

9

Medição por Pressão Diferencial

Deprimogênios

Se denomina assim ao elemento primário cuja instalação produz diferença de pressões (perda de carga), que se vincula com a vazão que circula, em uma relação determinável.

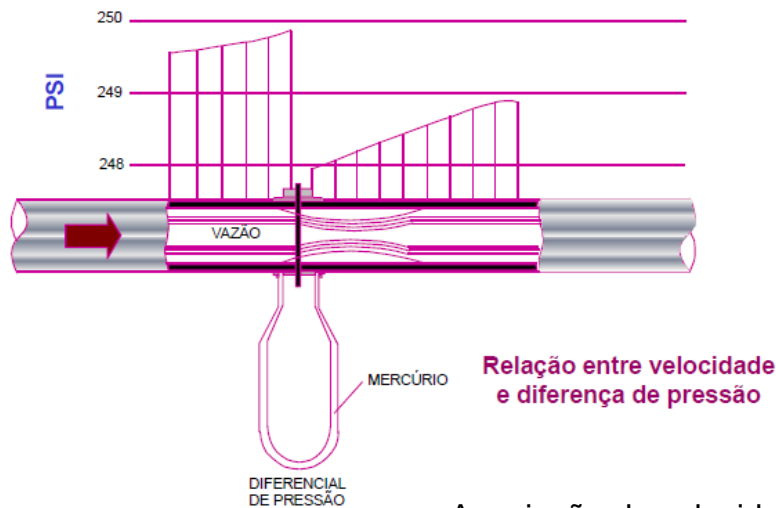
Os elementos deprimogênios mais usados são:

- ▶ Placa de Orifício
- ▶ Tubo Venturi
- ▶ Tubo Pitot / Annubar

10

Medição por Pressão Diferencial

MEDIÇÃO POR ELEMENTOS DEPRIMOGÊNIOS



$$v^2 = \frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)}$$

$$Q = A_2 v_2 = A_1 v_1$$

A variação de velocidade a ambos lados do estreitamento provoca uma diferença de pressão.

11

Medição por Pressão Diferencial

PLACAS DE ORIFÍCIO

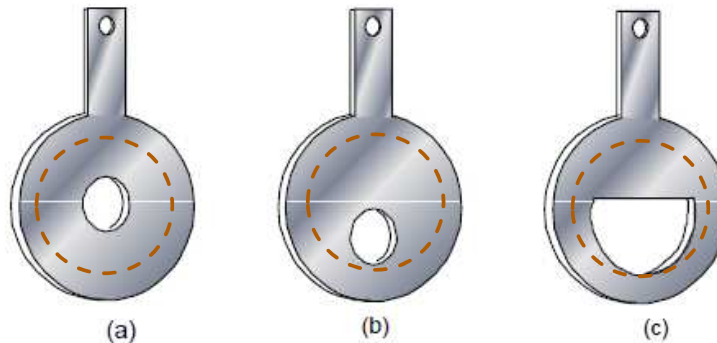
- Dos muitos dispositivos inseridos numa tubulação para se criar uma pressão diferencial, o mais simples e mais comum empregado é o da placa de orifício.
- Consiste em uma placa precisamente perfurada, a qual é instalada perpendicularmente ao eixo da tubulação. É essencial que as bordas do orifício estejam sempre perfeitas, porque, se ficarem, imprecisas ou corroídas pelo fluido, a precisão da medição será comprometida.
- Comumente, são fabricadas com aço inox, monel, latão, etc., dependendo do fluido.



12

PLACAS DE ORIFÍCIO

Tipos de orifícios:



- a) **Orifício concêntrico:** Orifício concêntrico: Este tipo de placa é utilizado para líquidos, gases e vapor que não contenham sólidos em suspensão.
- b) **Orifício excêntrico:** Utilizada quando tivermos fluido com sólidos em suspensão, os quais possam ser retidos e acumulados na base da placa, sendo o orifício posicionado na parte de baixo do tubo.
- c) **Orifício segmental:** Esta placa tem a abertura para passagem de fluido, disposta em forma de segmento de círculo. É destinada para uso em fluídos laminados e com alta porcentagem de sólidos em suspensão.

13

PLACAS DE ORIFÍCIO

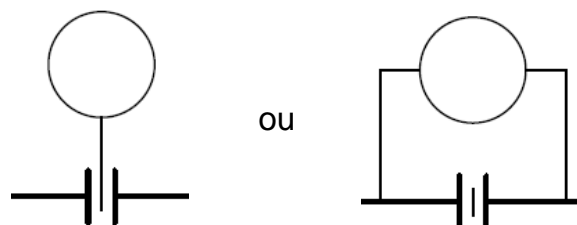
Vantagens

Instalação fácil
Econômica
Construção simples
Manutenção e troca simples.

Desvantagens

Alta perda de carga
Baixa Rangeabilidade

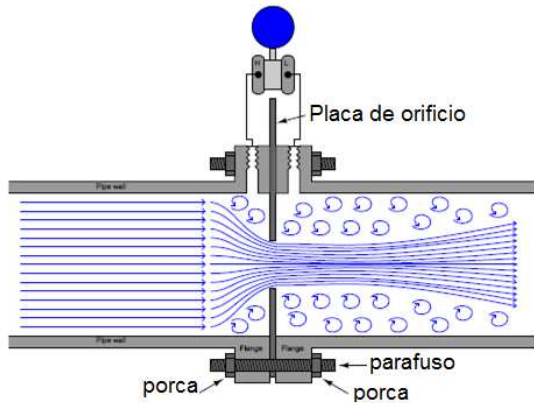
Simbologia:



ou

14

Medição por Pressão Diferencial



15

Medição por Pressão Diferencial

TUBO VENTURI

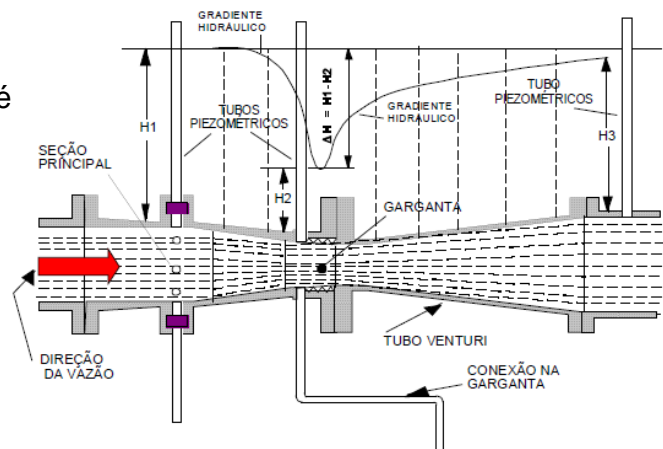
- Se utiliza-se quando é importante limitar a queda de pressão.
- Consiste num estrangulamento gradual cônico e uma descarga com saída também suave.
- Se usa para fluidos sujos e ligeiramente contaminados.
- Se utiliza para taxas de "turn down" (relação entre o máximo e o mínimo vazão, ex. 4:1) altas, como a das linhas de vapor.
- O alto custo restringe sua utilização.

16

Medição por Pressão Diferencial

TUBO VENTURI

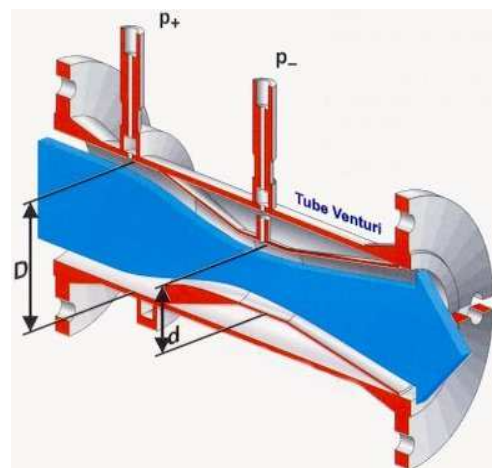
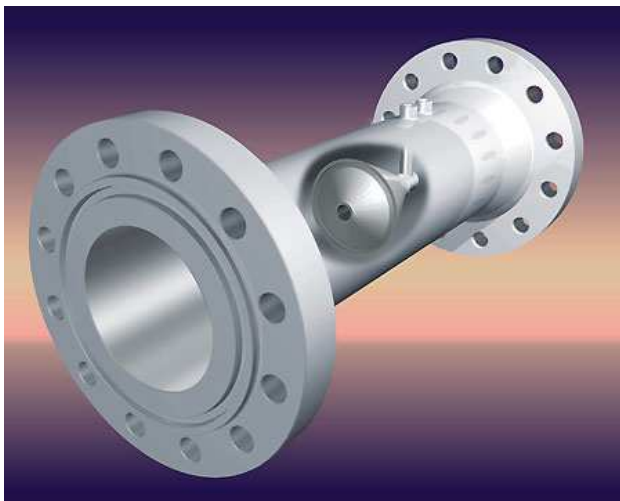
- Combina dentro de uma unidade simples, uma curta garganta estreitada entre duas seções cônicas
- Usualmente é instalado entre duas flanges, numa tubulação. Seu propósito é acelerar o fluido e temporariamente baixar sua pressão estática.
- A recuperação de pressão em um tubo Venturi é bastante eficiente, como podemos ver na figura ao lado.
- Uso recomendado quando se deseja um maior restabelecimento de pressão e quando o fluido medido carrega sólidos em suspensão.
- O Venturi produz um diferencial menor que uma placa de orifício para uma mesma vazão e diâmetro igual à sua garganta.



17

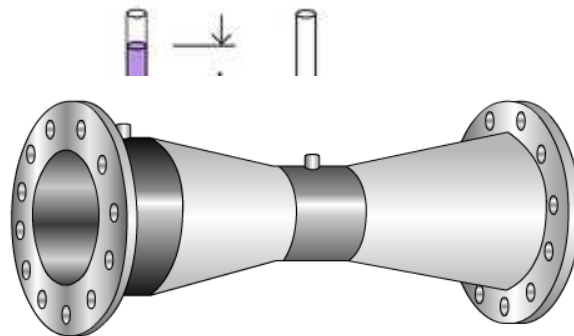
Medição por Pressão Diferencial

TUBO VENTURI



18

TUBO VENTURI



$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

TUBO VENTURI

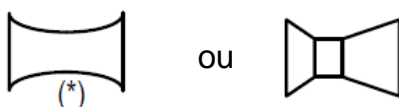
Vantagens:

- Queda de pressão mínima
- Minimiza o desgaste e entupimento, permitindo que o fluxo limpe sólidos suspenso através dele sem obstrução.

Desvantagens:

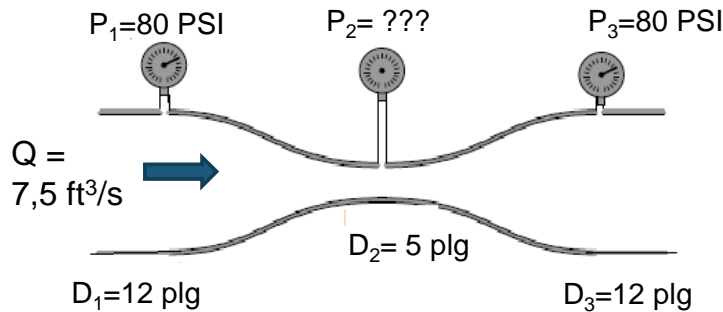
- São menos precisos do que a placa de orifício.
- Para maior precisão, cada tubo Venturi tem de ser calibrado, passando fluxos conhecidos através do Venturi e gravando as pressões diferenciais resultantes.
- A pressão diferencial gerado por um tubo de Venturi é inferior que da placa de orifício e, portanto, um transmissor de fluxo de alta sensibilidade é necessário.
- É mais volumoso e mais caro.

Simbologia:



Medição por Pressão Diferencial

Utilizar a equação de Bernoulli, para calcular a pressão na garganta deste tubo "Venturi", assumindo que a água flui a uma velocidade de $7,5 \text{ ft}^3/\text{s}$, com uma densidade de $62,4 \text{ lb}/\text{ft}^3$.



$$z_1 \rho g + \frac{v_1^2 \rho}{2} + P_1 = z_2 \rho g + \frac{v_2^2 \rho}{2} + P_2$$

$$g = 32.2 \text{ ft}/\text{s}^2$$

$$P_2 = 60.13 \text{ PSI}$$

21

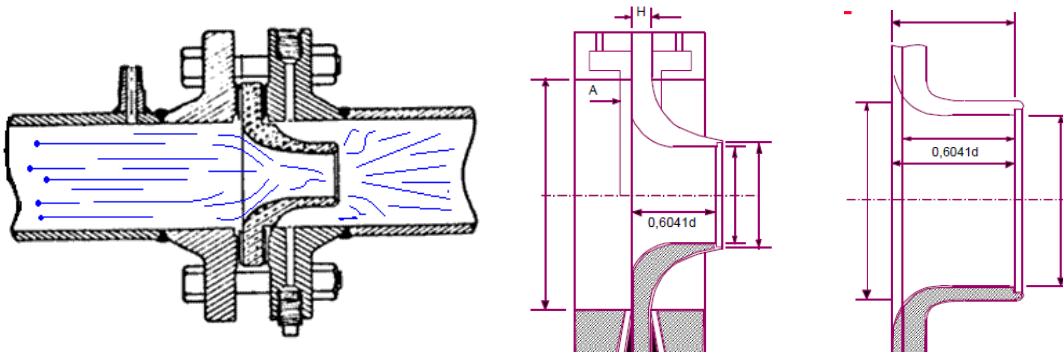
Medição por Pressão Diferencial

BOCAL

Simbologia:



- O perfil dos bocais de vazão permite sua aplicação em serviços onde o fluido é abrasivo e corrosivo. O perfil de entrada é projetado de forma à guiar a veia fluída até atingir a seção mais estrangulada do elemento de medição, seguindo uma curva elíptica (projeto ASME) ou pseudoelíptica (projeto ISA).
- Seu principal uso é em medição de vapor com alta velocidade, recomendado p/ tubulações > 50mm.



22

Medição por Pressão Diferencial

BOCAL

Simbologia:



- Limites de uso, segundo normas ISO-5167 para bocal tipo ISA-1932:

$$\begin{aligned} 50 \text{ mm} \leq D \leq 500 \text{ mm} \\ 0,3 \leq \beta \leq 0,8 \\ 7 \times 10^4 \leq \text{Re}(D) \leq 10^7 \text{ para } 0,3 \leq \beta \leq 0,44. \\ 2 \times 10^4 \leq \text{Re}(D) \leq 10^7 \text{ para } 0,44 \leq \beta \leq 0,80. \end{aligned}$$

- A relação de diâmetro relativo da tubulação deve ser inferior aos valores indicados na seguinte tabela:

β	<0,35	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,60	0,70	0,77	0,88
$10^4 \text{Ra}/D$	8,0	5,9	4,3	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,8	1,4	1,3	1,2	1,2

23

Medição por Pressão Diferencial

BOCAL

Simbologia:



- Coeficiente de descarga

$$C = 0,9900 - 0,2262\beta^{4,1} - (0,00175\beta^2 - 0,0033\beta^{4,15}) \left(\frac{10^6}{\text{Re}(D)} \right)^{1,15}$$

- Fator de expansão

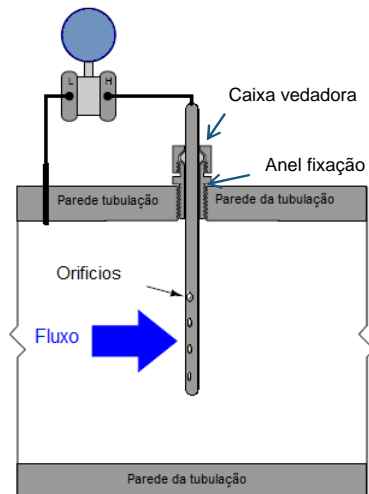
$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{k\tau^{2/k}}{k-1} \right) \left(\frac{1-\beta^4}{1-\beta^4\tau^{2/k}} \right) \left[\frac{1-\tau^{(k-1)/k}}{1-\tau} \right]}$$

Aplicável para $P2 / P1 \geq 0.75$

24

Tubo Pitot

- Mede a velocidade num ponto.
- Consiste num tubo de pequeno diâmetro com uma abertura em sua extremidade, sendo esta colocada na direção da corrente fluida de um duto.
- Si medimos a pressão estática com outro tubo, podemos calcular a velocidade como função da diferença de pressões.
- A diferença da pressão total e a pressão estática da linha nos dará a pressão dinâmica, a qual é proporcional ao quadrado da velocidade.



25

Tubo Pitot: Aplicação

- Possibilita o funcionamento de um dos mais importantes instrumentos de uma aeronave, o velocímetro
- Os tubos de pitot são componentes muito simples, sem peças móveis, mas mesmo assim podem sofrer problemas, quase todos relacionados com a sua **obstrução**. (por água precisa instalação de drenos adequados, pelo gelo, que pode se formar rapidamente, especialmente em formações de nuvens cumuliformes.

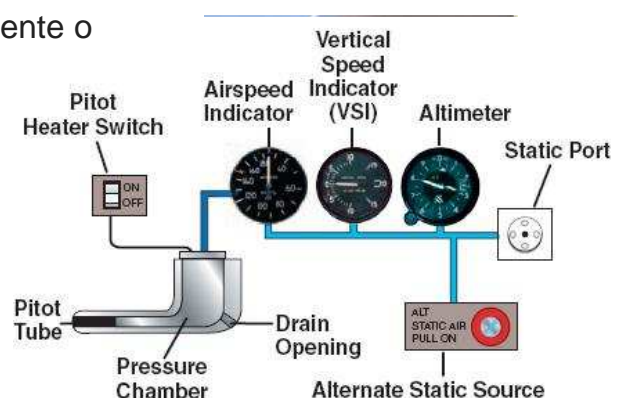
A equação abaixo explica matematicamente o funcionamento do tubo de pitot:

$$p_t = p_s + \left(\frac{\rho V^2}{2} \right)$$

$$\therefore V = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho}}$$

Sendo:

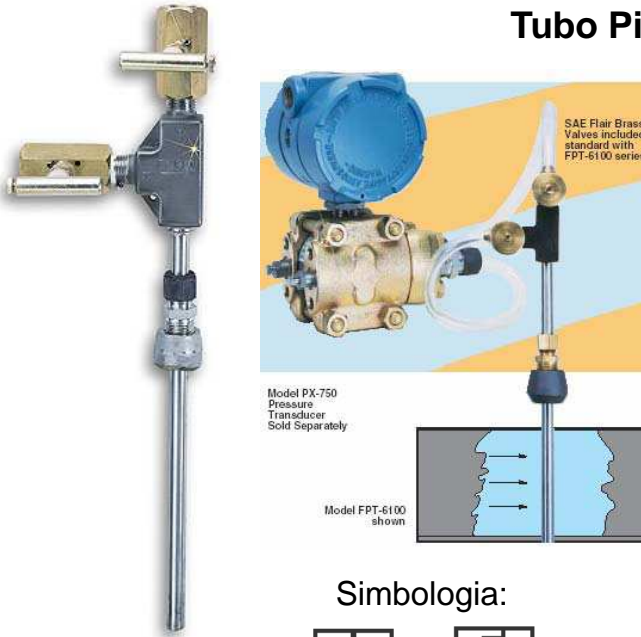
- p_t : pressão total ou de estagnação;
- p_s : pressão estática;
- V : velocidade aerodinâmica
- ρ : densidade do ar



26

Medição por Pressão Diferencial

Tubo Pitot



SAE Flair Brass Valve included standard with FPT-6100 series

Model PX-750 Pressure Transducer Sold Separately

Model FPT-6100 shown

Simbologia:



Standard pitot tube



Averaging pitot tube

SPECIFICATIONS

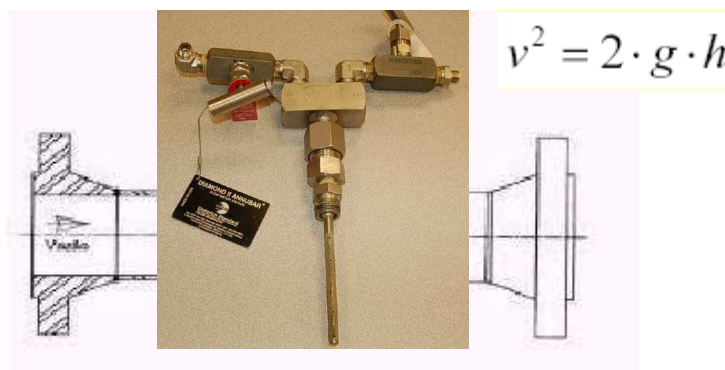
Accuracy: Up to 1% of rate (see sizing). (Accuracy stated is for use in schedule 40 pipe. If used in schedule 80) pipe, add 1% to accuracy or request special construction)
 Repeatability: $\pm 0.1\%$ of rate
 Max. temperature: FPT-6100: 93°C (200°F); FPT-6200: 204°C (400°F)
 Max. pressure: FPT-6100: 150 psig; FPT-6200: 1500 psig

Model No. (Low Press)	Price	Nominal Line Size	Probe Dia.	Maximum Differential Pressure (inches H ₂ O)	Max. GPM (Liquids)	K	Wt (lb)
FPT-6110	\$167	1"	3/8"	1200	115	.517	0.88
FPT-6112	167	1 1/2"	3/8"	833	179	.583	0.69
FPT-6115	167	1 1/2"	3/8"	668	220	.580	0.69
FPT-6120	167	2"	3/8"	459	315	.638	0.70
FPT-6125	174	2 1/2"	3/8"	338	410	.617	0.71
FPT-6130	207	3"	3/8"	237	552	.665	0.72
FPT-6135	207	3 1/2"	3/8"	186	657	.661	0.72
FPT-6140	215	4"	3/8"	150	756	.672	0.73
FPT-6160	255	6"	3/8"	72	1230	.706	0.77
FPT-6180	318	8"	3/8"	164	3109	.686	1.64
FPT-6181	390	10"	3/8"	107	4006	.676	1.76
FPT-6182	429	12"	3/8"	77	4830	.683	1.88
(High Pressure)							
FPT-6220	444	2"	1/2"	1064	479	.557	2.30
FPT-6225	444	2 1/2"	1/2"	713	609	.598	2.32
FPT-6230	444	3"	1/2"	510	809	.645	2.34
FPT-6235	453	3 1/2"	1/2"	400	963	.630	2.36
FPT-6240	453	4"	1/2"	328	1119	.656	2.37
FPT-6250	469	6"	1/2"	163	1845	.662	2.45
FPT-6260	493	8"	1/2"	100	2428	.673	2.52
FPT-6261	543	10"	1/2"	66	3139	.682	2.59
FPT-6282	843	12"	1"	140	6565	.677	6.65
FPT-6283	884	14"	1"	117	7325	.665	6.78
FPT-6284	950	16"	1"	90	8285	.691	6.98
FPT-6285	1053	18"	1"	72	9683	.678	7.19
FPT-6286	1118	20"	1"	59	11000	.705	7.40
FPT-6287	1200	24"	1"	41	13900	.708	7.81
FPT-6288	1346	36"	1"	18	21400	.664	9.08

Medição por Pressão Diferencial

Medidor Tipo Annubar

- O Annubar é um dispositivo de produção de pressão diferencial que ocupa todo o diâmetro do tubo.
- O annubar é projetado para medir a vazão total, de forma diferente dos dispositivos tradicionais de pressão diferencial.

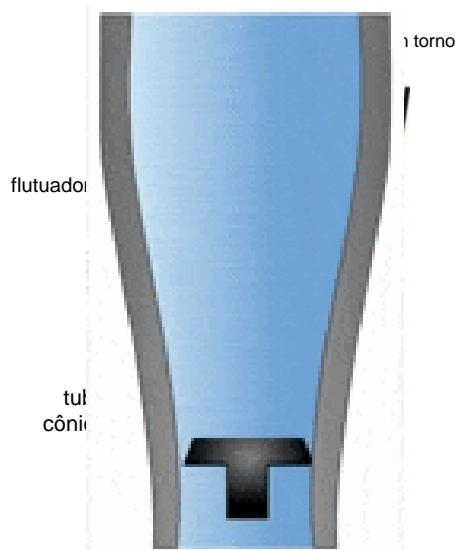




Rotômetros

Rotômetros

Rotômetros são medidores de vazão por área variável, nos quais um flutuador varia sua posição dentro de um tubo cônico, proporcionalmente à vazão do fluido.



Simbologia:



Rotômetros

- Fornecem uma relação linear com a vazão e é um dos poucos medidores que não exige trecho reto.
- São muito aplicados para indicação local na área industrial, e em laboratórios.
- Geralmente a instalação é vertical, mas existem modelos próprios para instalação na horizontal.

Basicamente, um rotômetro consiste de duas partes:

- 1) Um tubo de vidro de formato cônico, o qual é colocado verticalmente na tubulação em que passará o fluido que queremos medir. A extremidade maior do tubo cônico ficará voltada para cima.
- 2) No interior do tubo cônico teremos um flutuador que se moverá verticalmente, em função da vazão medida.

31

Rotômetros

- Estão disponíveis em grande variedade de materiais para que o medidor se adeque às condições do processo.
- Alguns modelos, além de indicadores são também transmissores e totalizadores, e também podem ter incorporado chaves de fluxo conforme



32

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Os principais medidores especiais de vazão são:

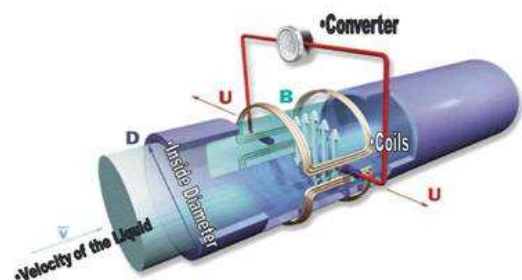
- Medidores com eletrodos Magnéticos,
- Tipo Turbina,
- Tipo Coriolis ,
- Vortex e Ultra-sônico

33

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

MEDIDOR MAGNÉTICO DE VAZÃO

- O medidor magnético – aplicado somente para líquidos – é um dos instrumentos mais confiáveis e robustos.
- É um dos medidores mais flexíveis e universais dentre os métodos de medição de vazão. Medidor de exatidão notável, alta estabilidade, rangeabilidade e desempenho.
- Utilizam revestimento como PFA (Copolímero de tetrafluoretileno e perfluoralcóxido, derivado do Teflon®), poliuretano, borracha, cerâmica, PTFE; e os eletrodos em aço inoxidável, hastelloy, platina, tântalo, titânio, etc.

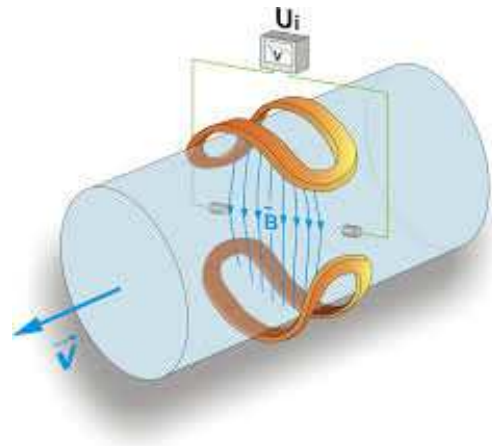


34

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

MEDIDOR MAGNÉTICO DE VAZÃO

- Sua perda de carga é equivalente a de um trecho reto de tubulação, já que não possui qualquer obstrução.
- Medidor de passagem livre e com diâmetros que vão de 2,5 mm até 2600 mm.
- Se baseiam na criação de potencial elétrico pelo movimento de um fluido condutor através de um campo magnético gerado exteriormente.



35

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

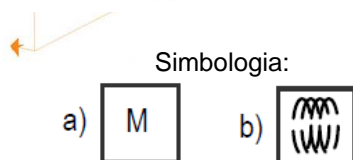
MEDIDOR MAGNÉTICO DE VAZÃO

Lei de Faraday de Indução Magnética, uma tensão é induzida em um condutor que se move em um campo magnético. Com o princípio de medida eletromagnética, o fluido se move dentro do condutor. A tensão induzida é proporcional ao fluxo e é medida por um par de eletrodos. Conhecendo-se a área da seção do duto, o volume do fluido pode ser



$$U_e = B \cdot L \cdot v$$
$$Q = v \cdot A$$

U_e = induced voltage
 B = magnetic induction (magnetic field)
 L = distance between electrodes
 v = flow velocity
 Q = volume flow
 A = pipe cross-section

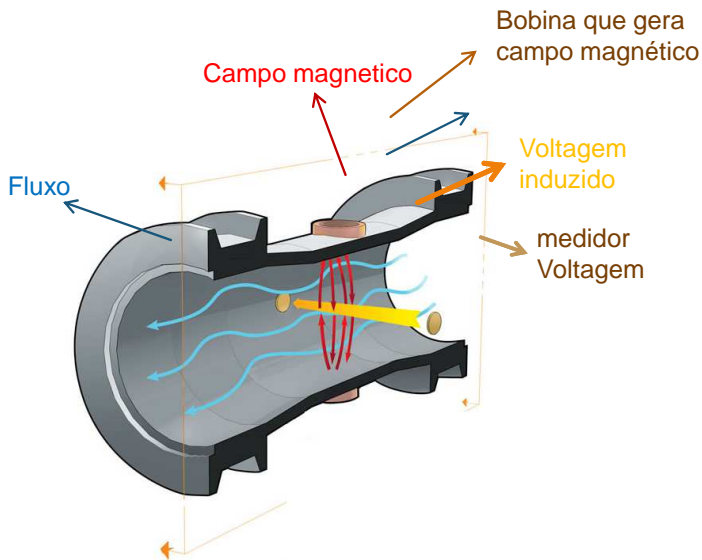


36

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

MEDIDOR MAGNÉTICO DE VAZÃO

Considere um condutor reto, de comprimento l , movendo-se com uma velocidade v , em um campo magnético uniforme B . Como os elétrons acompanham o movimento do condutor, eles ficam sujeitos a uma força magnética, cujo sentido é determinado pela regra da mão direita n°2.



Elétrons livres se deslocam para uma extremidade do condutor, ficando a outra extremidade eletrizada com cargas positivas. As cargas desses extremos originam um campo elétrico no interior do condutor e os elétrons ficam sujeitos, também, a uma força elétrica de sentido contrário ao da força magnética.

37

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

MEDIDOR MAGNÉTICO DE VAZÃO

Liner Materials for Magnetic Flowmeters—Common Types

Liner	Brand Name	Fluid Temp.	Industry
EPDM (soft rubber)	Keltan, Vistalon	-58° to +248°F	Chemical, mining
Ebonite, SBR (hard rubber)		max. 176°F	Chemical, waste, paper, wastewater, Drinking water
PTFE	Teflon	-40° to +356°F	Chemical, paper, food, heat measurement
PFA	Teflon	max. 392°F	Chemical, food, water, pharma, general purposes
FEP (bound) Ceramic	Teflon	212°F -40° to +392°F	Chemical, food Wastewater, biochemical, pharma
PU	Polyurethane	-4° to +176°F	Chemical, mining, wastewater
CR	Neoprene, Bayprene	max. 176°F	Wastewater, chlorinated water
PP	Polypropylene	max. 140°F	Petrochemical, general purposes
NR	Natural rubber	176°F	Mining, aggregate, cement, concrete
PVDF		max. 392°F	Chemical, food, water, general purposes

38

MEDIDOR MAGNÉTICO DE VAZÃO

- Ideais para medição de:
 - ▶ produtos químicos altamente corrosivos,
 - ▶ fluidos com sólidos em suspensão,
 - ▶ lama,
 - ▶ água,
 - ▶ polpa de papel.
- Sua aplicação estende-se desde saneamento até indústrias químicas, papel e celulose, mineração e indústrias alimentícias.
- A única restrição, em princípio é que o fluido tem que ser eletricamente condutivo. Tem ainda como limitação o fato de fluidos com propriedades magnéticas adicionarem um certo erro de medição.

39

- Todas as soluções aquosas, tais como água, efluente, pastas, sucos, ácidos, e os outros produtos podem ser medidos com um medidor magnético. Deve-se escolher uma versão que seja compatível com o mínimo de condutividade do líquido a ser medido.
- Produtos Petroquímicos, tais como petróleo, benzeno, e o óleo Diesel não pode ser medidos com o princípio do fluxo magnético, devido à sua baixa condutividade (p. ex. gasolina = 0,00000001 mS / cm).
 - ▶ No caso dessas substâncias, as técnicas de medição mecânicas ou outros deve ser selecionado como p. ex. Coriolis ou medidores de vazão vortex.

40

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidor Tipo Turbina

- Constituído basicamente por um rotor montado axialmente na tubulação.
- O rotor é acionado pela passagem de fluido sobre a palhetas em angulo; a velocidade angular do rotor é proporcional a velocidade do fluido que, por sua vez é proporcional a vazão volumétrica. uma bobina sensora na parte externa do corpo do medidor detecta o movimento do rotor
- A frequência dos pulsos gerados desta maneira é proporcional á velocidade do fluido e a vazão pode ser determinada pela medição / totalização de pulsos.



41

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidor Tipo Turbina

- São os mais precisos (0.15 - 1 %).
- Rangeabilidade maior que todos os instrumentos de vazão.
- São aplicáveis a gases e líquidos limpos, não corrosivos nem abrasivos, de baixa viscosidade.
- Problemas: Perda de carga e partes móveis e custo elevado, a pesar de sua fácil instalação.



42

Medidor por Efeito Coriolis

- Com este medidor é possível medir vazão massica e volumétrica - com altas pressões e temperaturas – inclusive para transferência de custódia e medição fiscal para líquidos.
- 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, pressão. Não necessita de trechos retos, justificando as aplicações onde o medidor fica logo após curvas, válvulas, bombas, etc.

43

Medidor por Efeito Coriolis

- Resumidamente, um medidor Coriolis possui dois componentes:
 - tubos de sensores de medição e
 - transmissor.
- Os tubos de medição são submetidos a uma oscilação e ficam vibrando na sua própria frequência natural à baixa amplitude, quase imperceptível a olho nu.

44

Medidor por Efeito Coriolis

- 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 que geram uma tensão em formato de ondas senoidais.
- As forças geradas pelos tubos criam uma certa 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.

45

Medidor por Efeito Coriolis

O princípio de medida é baseado sobre a geração das forças de Coriolis. Estas forças estão sempre presentes quando movimentos de translação e rotação ocorrem simultaneamente.

$$\vec{F}_c = 2\Delta m \left(\vec{\omega} \times \vec{v} \right)$$

onde:

F_c = força de Coriolis.

Δm = massa do fluido em movimento.

ω = velocidade angular.

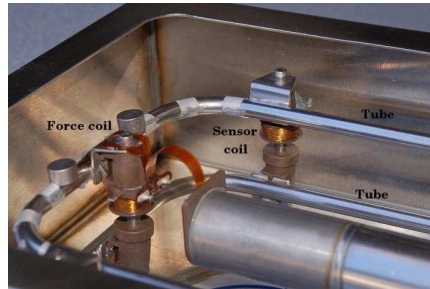
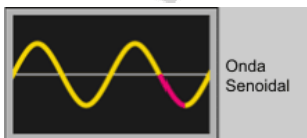
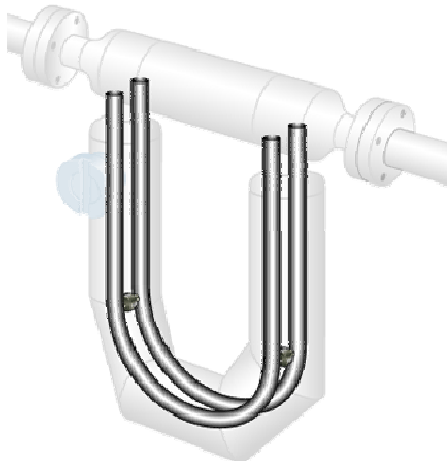
v = velocidade radial em um sistema em rotação ou oscilação.

46

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidor por Efeito Coriolis

simbologia



47

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidores Ultrassônicos



- Os medidores de vazão que usam a velocidade do som como meio auxiliar de medição podem ser divididos em dois tipos principais:
 - ▶ Medidores a efeito doppler
 - ▶ Medidores de tempo de trânsito.
- Existem medidores ultra-sônicos nos quais os transdutores são presos à superfície externa da tubulação, e outros com os transdutores em contato direto com o fluido.
- Os transdutores-emissores de ultra-sons consistem em cristais piezoelétricos que são usados como fonte de ultrassom, para enviar sinais acústicos que passam no fluido, antes de atingir os sensores correspondentes.

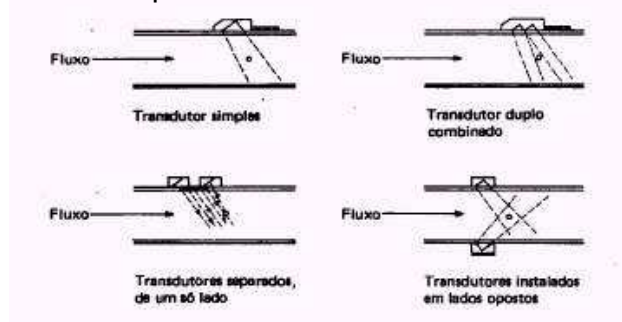
48

Medidores Ultrassônicos



a) Medidores de efeito Doppler

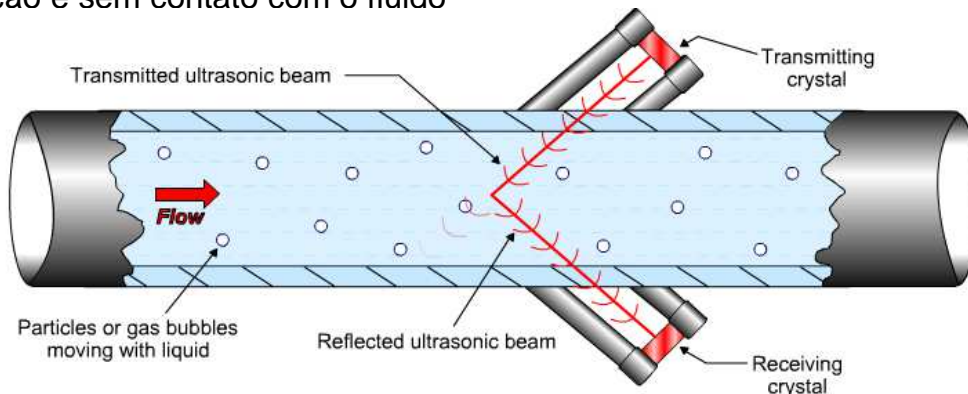
- O efeito Doppler é aparente variação de frequência produzida pelo movimento relativo de um emissor e de um receptor de frequência. No caso, esta variação de frequência ocorre quando as ondas são refletidas pelas partículas móveis do fluido.
- Os transdutores-emissores projetam um feixe contínuo de ultrassom na faixa das centenas de khz. Os ultrassons refletidos por partículas veiculadas pelo fluido têm sua frequência alterada proporcionalmente ao componente da velocidade das partículas na direção do feixe.
- Estes instrumentos são conseqüentemente adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas capazes de refletir ondas acústicas.



49

Medidores Ultrassônicos

um sensor ultrassônico é um sensor não invasivo, localizado na parte externa da tubulação e sem contato com o fluido



Este medidor propaga ondas sonoras no interior do fluido através das paredes da tubulação

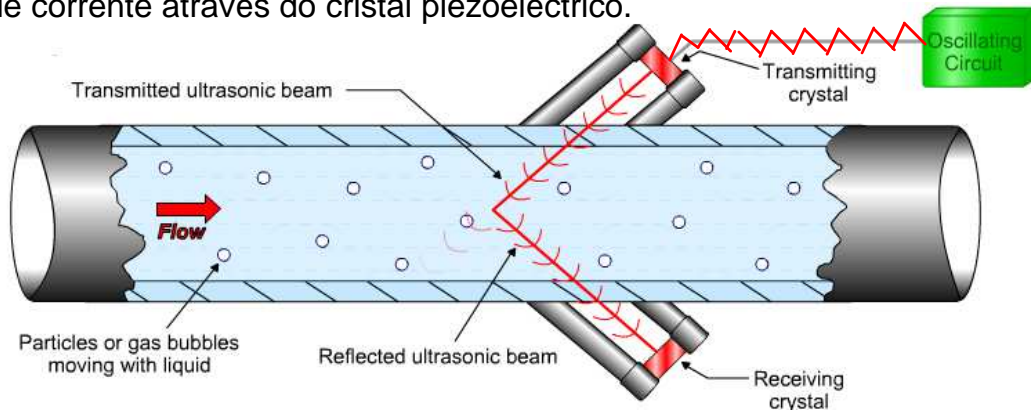
Quando as ondas sonoras são refletidas por partículas em movimento, a frequência é deslocada devido ao fenômeno conhecido como efeito Doppler

50

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidores Ultrassônicos

A emissão de ondas sonoras originadas por um oscilador, um dispositivo que envia pulso de corrente através do cristal piezoelétrico.



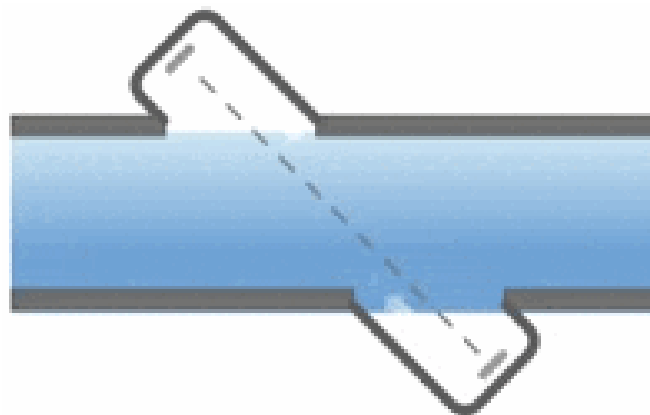
o pulso faz com que o dispositivo piezo vibre fisicamente e mover as ondas sonoras e assim passar através do fluido. Estas ondas estão em maior frequência (ultra-som) do que aquela que pode ser ouvido pelos humanos.

os pulsos são transmitidos para o líquido seguinte.

51

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidores Ultrassônicos



52

Medidores Ultrassônicos

A frequência aparente "f'" " medida pelo observador

$$\frac{f'}{f} = \frac{c + v \cos \theta}{c}$$

O comprimento de onda aparente visto pelo receptor

$$\frac{\lambda''}{\lambda'} = \frac{c - v \cos \theta}{c}$$

$$\frac{f''}{f'} = \frac{c}{c - v \cos \theta}$$

A diferencial de frequência $\Delta f = f'' - f = \frac{2f}{c} (\cos \theta)v$

$$v = \frac{(\Delta f)c}{2f \cos \theta}$$

Medidores Ultrassônicos

Aplicações:

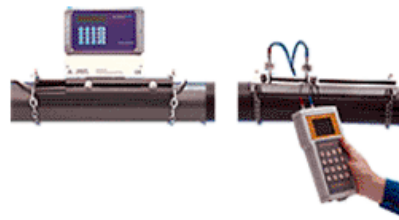
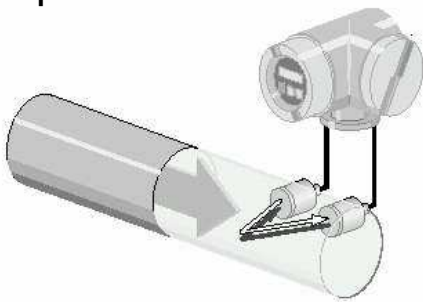
- ✓ Líquido corrosivo
- ✓ Medição do fluxo de sangue
- ✓ Sistemas de tratamentos de águas residuais
- ✓ No controle da alimentação de digestores

Medidores Ultrassônicos

b) Medidores de tempo de trânsito

Ao contrário dos instrumentos anteriores, estes instrumentos não são adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas.

Para que a medição seja possível, os medidores de tempo de trânsito devem medir vazão de fluidos relativamente limpos.



55

Medidores Ultrassônicos

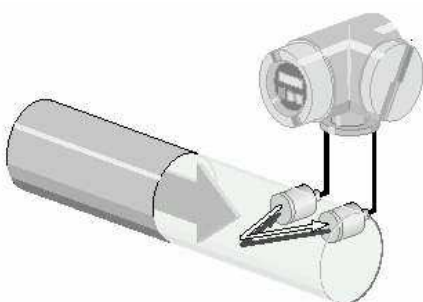
b) Medidores de tempo de trânsito

O princípio de funcionamento é baseado no tempo de trânsito de sinais no meio. Um sinal acústico (ultrassom) é transmitido de um sensor a outro. Este pode ser tanto na direção do fluxo, quanto contrário ao fluxo. O tempo do trânsito do sinal é medido. De acordo com princípio físico, o sinal enviado na direção do fluxo requer menos tempo de trânsito que o sinal enviado contra o fluxo. A diferença entre os tempos de trânsito é proporcional à velocidade do fluido.

$$V_m = (L / 2 * \cos\theta) * [(t_{AB} - t_{BA}) / (t_{AB} + t_{BA})]$$

$$V \approx \Delta t$$

$$\text{Eq. básica Vazão: } Q = A * V$$



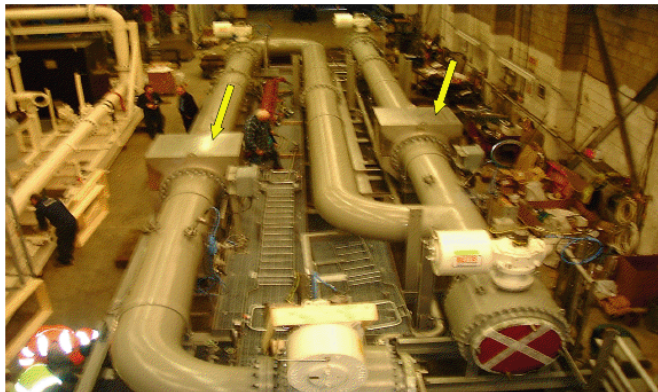
V = velocidade do fluido
 Δt = diferença de tempo de trânsito
 Q = fluxo volumétrico
 A = área transversal do tubo.

56

Medidores Ultrassônicos

b) Medidores de tempo de trânsito: Aplicação

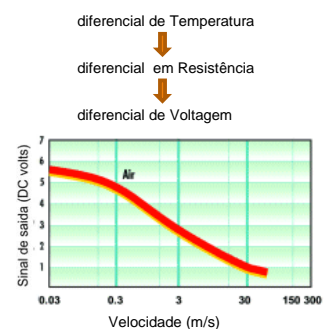
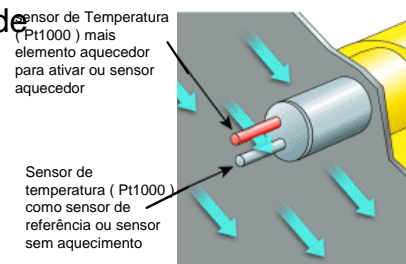
- Fluidos limpos e gases
- Óleos brutos médios na indústria de refino de petróleo.
- Fluidos puros e semicondutores ultrapuros nas indústrias farmacêuticas e de alimentos e bebidas.



57

Medidor de vazão por dispersão térmica

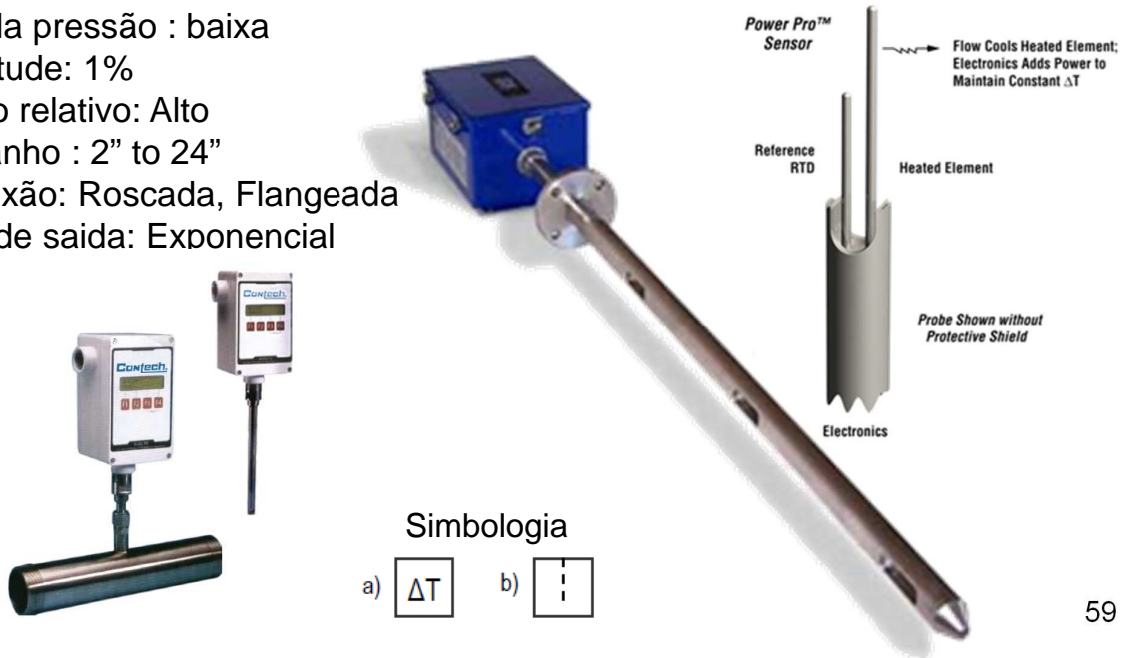
- Este instrumento particular faz uso de dois RTDs de alta precisão. Um RTD de referência mede a temperatura do processo e um RTD ativo é aquecida até um valor conhecido para criar um diferencial de temperatura entre os dois sensores.
- Uma simplificação do princípio de funcionamento: Quando não há fluxo, o diferencial irá ser na sua maior. À medida que o gás começa a fluir, o RTD ativo começa a arrefecer e diminui o diferencial entre os dois sensores.
- Tecnologia térmica é vantajosa porque tem também em conta a densidade, viscosidade absoluta, a condutividade térmica e calor específico do gás a ser medido. O resultado final é uma leitura de fluxo de massa muito preciso, que não requer instrumentação ou cálculos adicionais.



58

Medidor de vazão por dispersão térmica

- Recomendado: Gases, Líquidos Limpos/sujos e viscoso, algumas pastas
- Rangeabilidade: 10 to 1
- Queda pressão : baixa
- Exatidão: 1%
- Custo relativo: Alto
- Tamanho : 2" to 24"
- Conexão: Roscada, Flangeada
- Tipo de saída: Exponencial



59

Medidor de Vazão tipo Vortex

O princípio de funcionamento é baseado no vórtice de Karman.

Quando fluidos fluem através de uma restrição introduzida no duto, vórtices são formados pelos lados.

A frequência do vórtice proporcional ao fluxo médio e, desta forma, ao fluxo volumétrico. Variações de pressão causadas pelo vórtices são transmitidas via alguns orifícios introduzidos nas laterais.

Os sensores são colocados dentro do duto e protegidos de choques, temperaturas e desgaste pela passagem do fluido

Os sensores capacitivos detectam os pulsos de pressão e os convertem em pulsos elétricos

$$Q = A * V$$

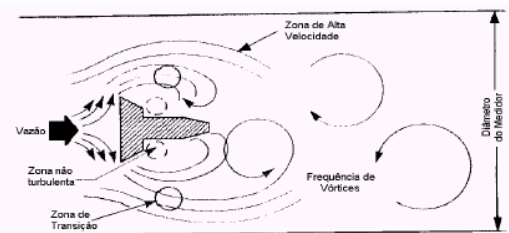
onde $V = (f * d) / St$

f = Frequência de vórtices

d = Diâmetro do corpo blefe

St = Número Stouhal (relação entre diâmetro do blefe e Intervalo Vortex)

A = Área do tubo



simbologia



60

Medidor de Vazão tipo Vortex

- O medidor de vórtice funciona bem em líquidos relativamente limpos, gás e vapor de água que não contêm quantidade significativa de sólidos.
- O líquido deve também ter uma viscosidade relativamente baixa. (fator limitante para o líquido é o No.de Reynolds , Re).
- Tipicamente, o medidor de vórtice é completamente linear até $Re = 20.000$.
- Abaixo desso Re o processo de desprendimento de vórtices torna-se menos regular.
- Medidores de Vortex podem ser usados até limite inferior de $Re = 4000$, com uma ligeira perda de precisão. Abaixo desse valor o medidor vortex não é confiável.

Medidor de Vazão tipo Vortex

- Em aplicações de gás, a densidade do gás é uma consideração importante. Em uma velocidade de fluxo muito baixa, um gás de baixa densidade tem muito pouca energia no redemoinho vortex.
- Em algum ponto, a energia presente é demasiado baixo para o sensor detectar a presença de fluxo e o contador vai para uma condição de fluxo zero.
- Para a maior parte, as forças de aplicação no medidor vortex inserem as mesmas aplicações tradicionalmente servidas pela placa de orifício e medidor de pressão diferencial por muitos anos, ou seja, líquidos limpos de baixa viscosidade, gás e vapor.

MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Medidor de Vazão de Deslocamento Positi

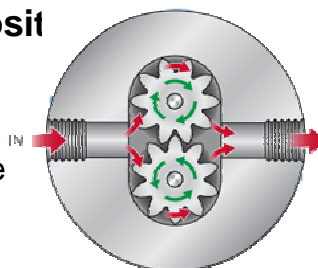
- turbina, engrenagem, rodas

Desenvolvido para atender aplicações onde os fluidos são extremamente viscosos,

o medidor de vazão tipo deslocamento positivo VDP é construído em diâmetros de 1/8" a 2", em aço carbono, inox, PTFE, latão ou outros materiais.

Possui sinais de saída pulso ou 4-20 mA no cabeçote, o que possibilita o envio do sinal diretamente a um sistema de supervisão, CLP's, módulos de aquisição de dados.

Aplicação: óleo BPF, mel, chocolate, resinas, vernizes, asfalto, óleos lubrificantes e outros.



simbologia



63

COMPARAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO

TABLE 1 Comparison of Flowmeters

Applications:

Liquid and gases:

Orifice, venturi, flow nozzle, flow tube, elbow, pitot, target

Steam:

Orifice, venturi, flow nozzle, flow, tube, target

Flow range:

Liquids (minimum):

Orifice	0.1 cm ³ /min
Venturi	20 cm ³ /min (5 gal/min)
Flow nozzle	20 cm ³ /mi (5 gal/min)
Flow tube	20 cm ² /mi (5 gal/min)
Elbow	Depends on pipe size
Pitot	Depends on pipe size
Target	0.25 L/min (0.07 gal/min)

Liquids (maximum):

All types

Depends on pipe size

Gases (minimum):

Orifice	Gas equivalent of liquids
Venturi	35 m ³ /h (20 scfm)
Flow nozzle	35 m ³ /h (20 scfm)
Flow tube	35 m ³ /h (20 scfm)
Elbow	Depends on pipe size
Pitot	Depends on pipe size
Target	0.5 m ⁵ /h (0.3 scfm)

64

COMPARAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO

TABLE 1 Comparison of Flowmeters

Nominal accuracy:

Orifice	$\pm 0.6\%$ (maximum flow)
Venturi	$\pm 1\%$ (maximum flow)
Flow nozzle	$\pm 1\%$ (full-scale)
Flow tube	$\pm 1\%$ (full-scale)
Elbow	$\pm 5\%$ to $\pm 10\%$ (full-scale)
Pitot	$\pm 5\%$ or better (full-scale)

COMPARAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO

Requisito	Orifício	Deslocamento positivo	Vortex	Eletromagnético	Acústico	Coriolis
Exatidão	$\pm 2\sim 4\%$ do spam total	$\pm 0.2\sim 0.5\%$ da taxa	$\pm 1.0\%$ Da taxa	$\pm 0.5\%$ da taxa	$\pm 1\sim 5\%$ do Spam total	$\pm 0.5\%$ da taxa
Perda Pressão	médio	alta	médio	nenhum	nenhum	baixo
Custo Inicial	baixo	médio	alto	alto	alto	muito alto
Custo manutenção	alto	médio	Médio	baixo	baixo	baixo
Aplicação	Limpeza, liq sujo; alguns chorume	Limpeza liq viscoso	Liquido limpo, sujo;	Liq. Limpo, viscoso, sujo condutor. e chorume	Liq. sujo, viscoso e chorume	liq. limpo, sujo, viscoso e alguns chorume
tamanho do tubo à montante	10~30	nenhum	10 a 20	5	5 a 30	nenhum
Viscosidade efeito	alto	alto	médio	nenhum	nenhum	nenhum
Rangeabilidade	4 a 1	10 a 1	10 a 1	40 a 1	20 a 1	10 a 1

CONCLUSÃO

- 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 clássicas, porém, o principal fator que dificulta esse processo é a constante evolução dos medidores, influenciando diretamente na performance e custos do equipamento .

Mais informação

- ANSI/ISA-5.1-2009, Instrumentation Symbols and Identification, ISBN: 978-1-936007-29-5
- Manual de medição de vazão. Delmeé G. Jean; 3ª Edição – 2003; Editora Edgard Blücher Ltda.
- Manual de medição de vazão através de placas de orifício, bocais e venturis. Martins N.; 1ª Edição – 1998; Editora Interciência.
- Medição de vazão. Ribeiro M. Antônio; 6ª Edição – 2004