

Medição de Vazão

CARLOS FREDERICO MESCHINI ALMEIDA

Introdução

- ✓ 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

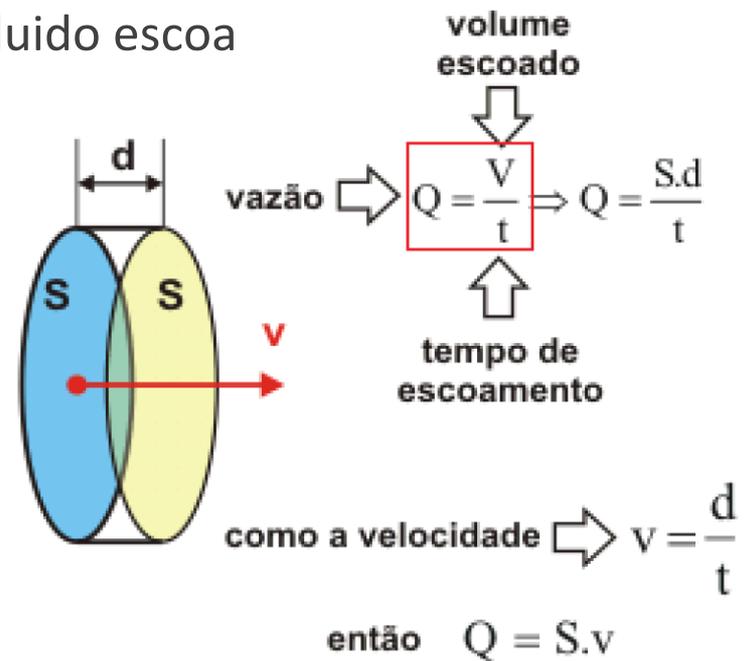


Definições

- ✓ **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

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

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



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 minuto
 - CFM : pé cubico por minuto

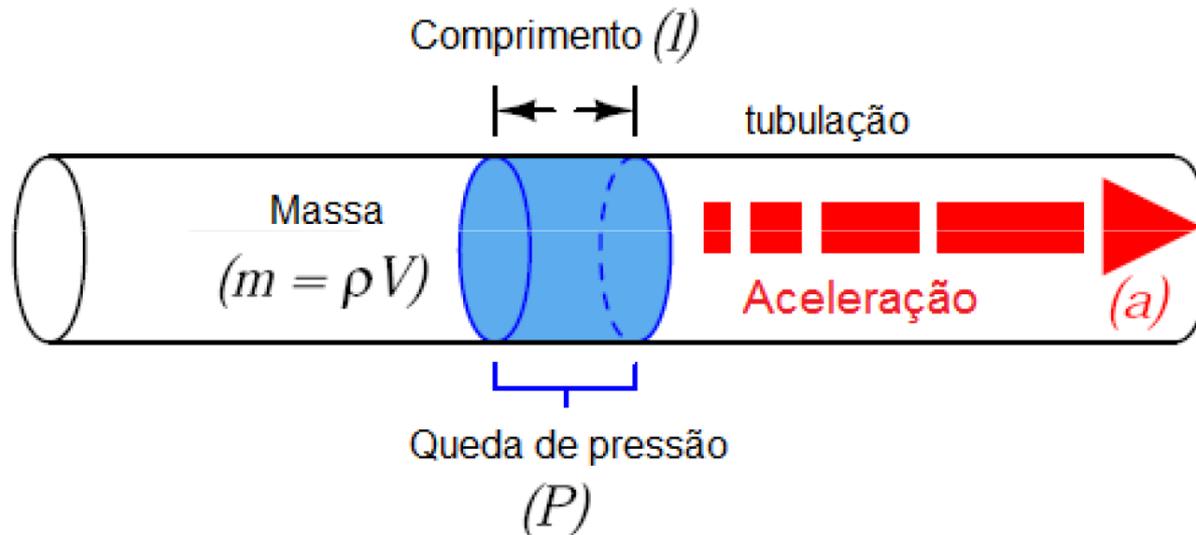
Aplicação

- ✓ Medição de **vazão** é utilizada
 - Para garantir que determinados ingredientes são fornecidos a uma taxa adequada durante o processo de mistura
 - Para evitar a elevação de vazão, que pode causar:
 - Aumento da pressão a níveis perigosos
 - Temperatura excessiva
 - Vazamentos de fluidos

Critérios para Escolha de Medidores

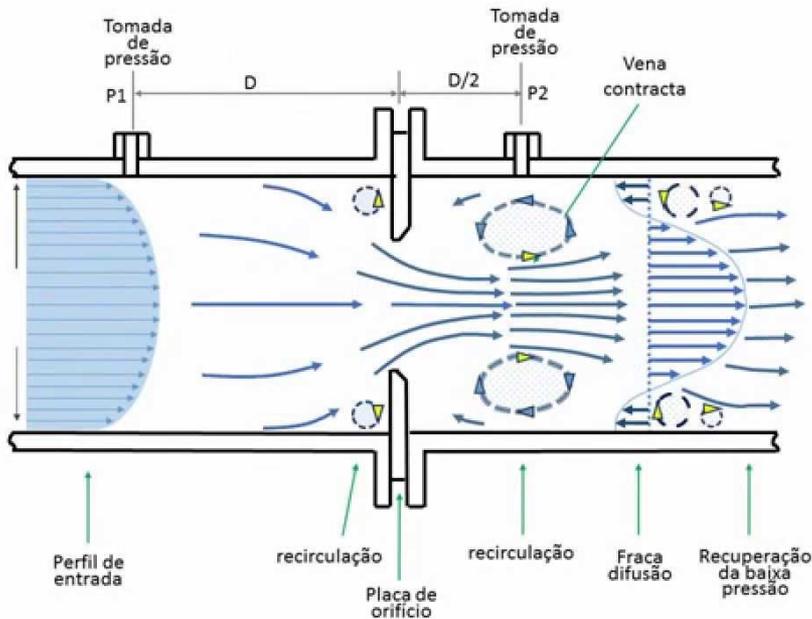
- ✓ Vazão Operacional
- ✓ Características do Fluido
- ✓ Características de Instalação
- ✓ Características de Operação
- ✓ Exatidão
- ✓ Rangeabilidade
- ✓ Facilidades de Comunicação
- ✓ Custo
- ✓ Facilidade de Instalação e Manutenção
- ✓ Confiabilidade

Conceitos Gerais



✓ 2ª Lei de Newton

Conceitos Gerais



$$P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + 1/2 \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + 1/2 \cdot \rho \cdot v_2^2 + \sum f$$

f representa a perda por fricção total, que é geralmente, desprezível

$$Q = A_1 \cdot v_1 = C \cdot Y \cdot A_2 \cdot \sqrt{2} \cdot (P_1 - P_3) / \rho \cdot (1 - A_2^2 / A_1^2)$$

- ✓ C é responsável por todas as imperfeições, como perdas por atrito, e depende do tipo de medidor, da relação entre as áreas das secções transversais e do número de Reynolds
- ✓ Y é fator de compressibilidade, responsável pela expansão dos gases compressíveis, que é 1 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

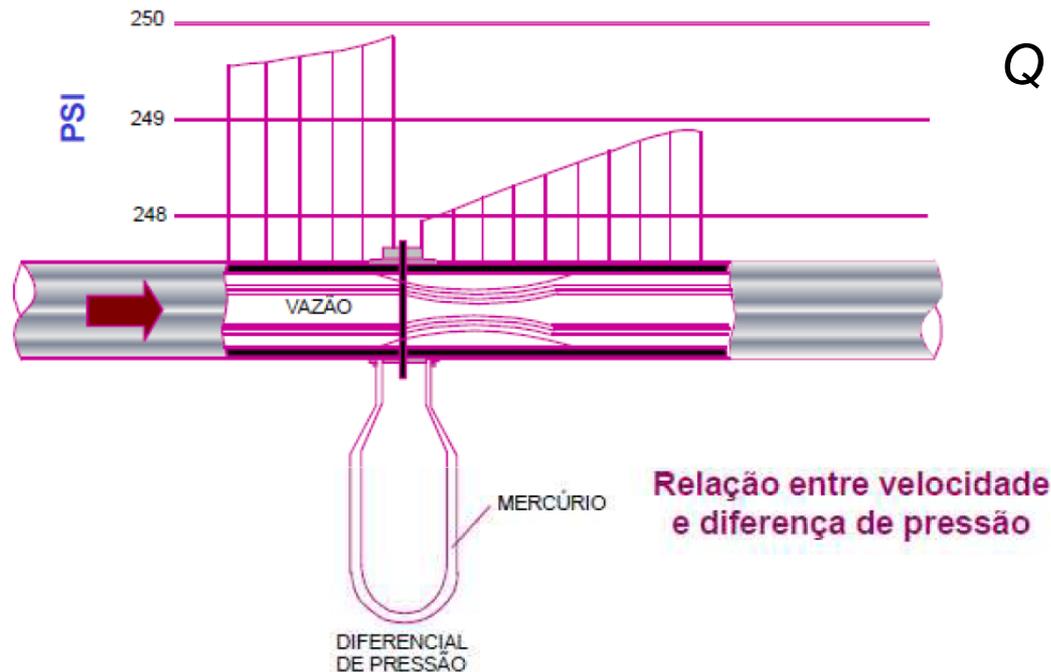
Tipos de Medidores de Vazão

	SISTEMA	MEDIDOR
Medidores de Vazão Volumétrica	Pressão diferencial (deprimogênio) - medidores conectados a tubo em U ou elementos de redução ou diafragma	Placa de orifício
		Tubo de Venturi
		Tubo de Pitot
		Tubo Annubar
		Rotâmetros
	Área variável	Turbina
	Velocidade	Ultrassônico
	Tensão induzida	Magnético
	Deslocamento positivo	Roda oval, helicoidal
Vortex	Medidor de frequência	
Força	Placas de impacto	
Medidores de Vazão Mássica	Térmico	Diferença de temperatura em sondas de resistência
	Coriolis	Tubo em vibração

Medição por Pressão Diferencial (Deprimogênios)

- ✓ Elemento primário cuja instalação produz diferença de pressões (perda de carga), que pode ser vinculada com a vazão circulante em uma relação determinável
- ✓ Os elementos deprimogênios mais usados são
 - Placa de Orifício
 - Tubo Venturi
 - Tubo Pitot / Annubar

Medição por Pressão Diferencial (Deprimogênios)



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

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2^2 \rightarrow v_1 = \left(A_2 / A_1 \right) \cdot v_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \rightarrow$$

$$(v_2^2 - v_1^2) / 2 = (P_1 - P_2) / \rho \rightarrow$$

$$(v_2^2 - v_1^2) / 2 = \rho \cdot g \cdot (h_1 - h_2) / \rho \rightarrow$$

$$v_2^2 - \left[\left(A_2 / A_1 \right) \cdot v_2 \right]^2 / 2 \cdot g = \Delta h \rightarrow$$

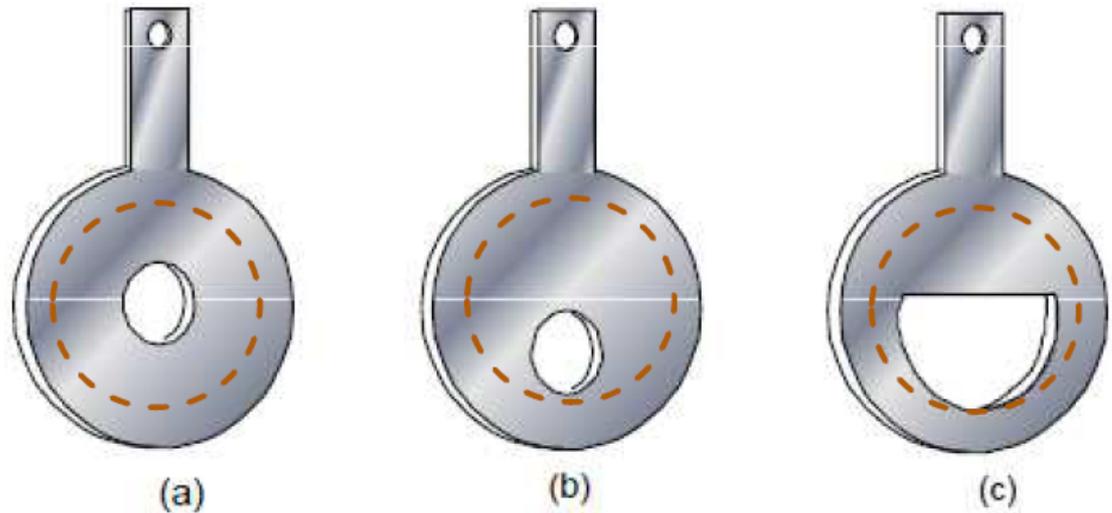
$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h / \left[1 - \left(A_2 / A_1 \right)^2 \right]}$$

Medição por Pressão Diferencial - Placas de Orifício

- ✓ Dos muitos dispositivos inseridos em uma 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
 - Se ficarem imprecisas ou forem corroídas pelo fluido, a precisão da medição será comprometida
- ✓ Comumente, são fabricadas com aço inox, monel, latão, etc. (dependendo do fluido)



Medição por Pressão Diferencial - Placas de Orifício



Tipos de orifício

a) Orifício concêntrico

- Utilizado para líquidos, gases e vapor que não contenham sólidos em suspensão

b) Orifício excêntrico

- Utilizado quando o fluido contiver sólidos em suspensão, os quais possam ser retidos e acumulados na base da placa, sendo o orifício posicionado na parte de baixo do tubo

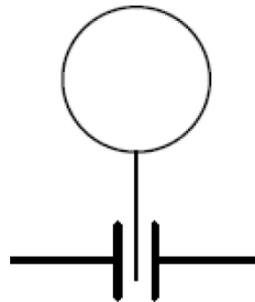
c) Orifício segmental

- Possui uma abertura para passagem de fluido, disposta em forma de segmento de círculo
- É destinada para uso em fluidos laminados e com alta porcentagem de sólidos em suspensão

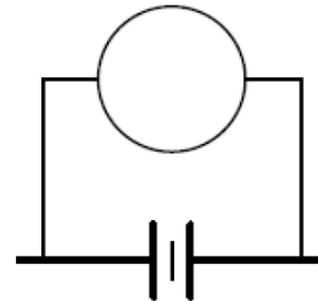
Medição por Pressão Diferencial - Placas de Orifício

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Instalação fácil	Alta perda de carga
Econômica	Baixa Rangeabilidade
Construção simples	
Manutenção e troca simples	

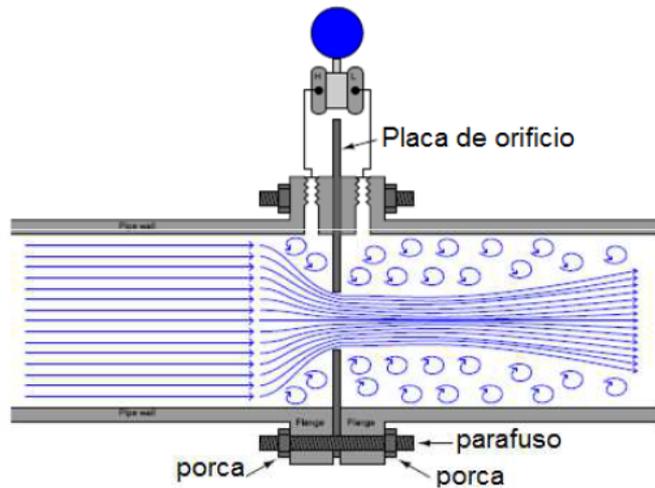
Simbologia



ou



Medição por Pressão Diferencial - Placas de Orifício

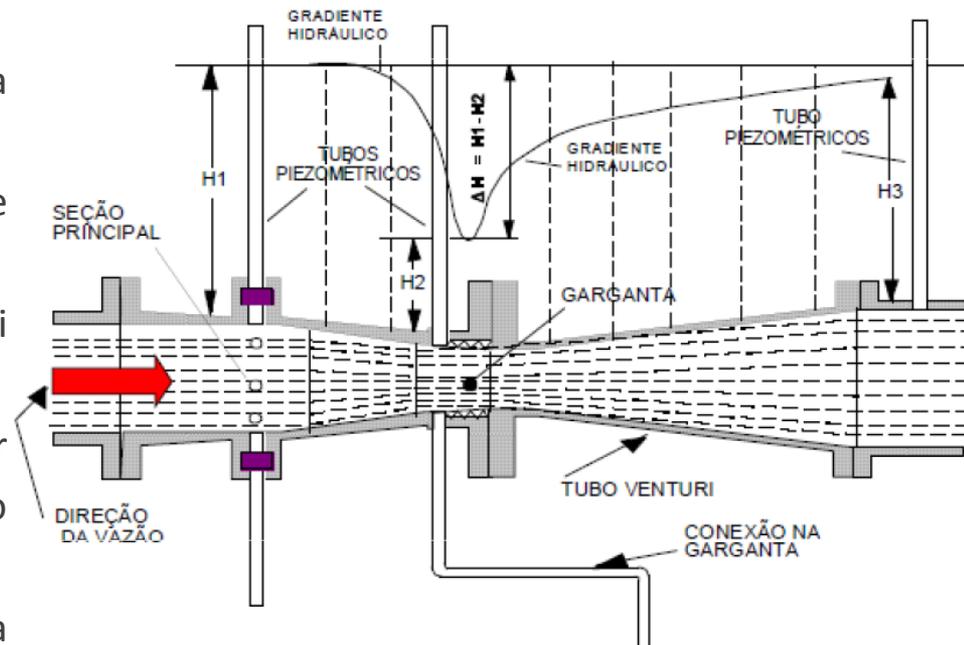


Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Venturi

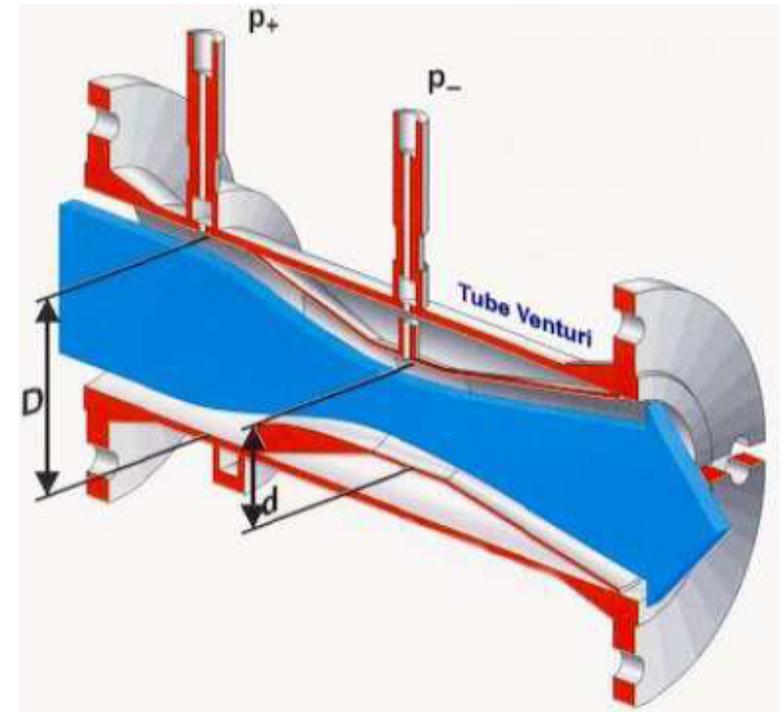
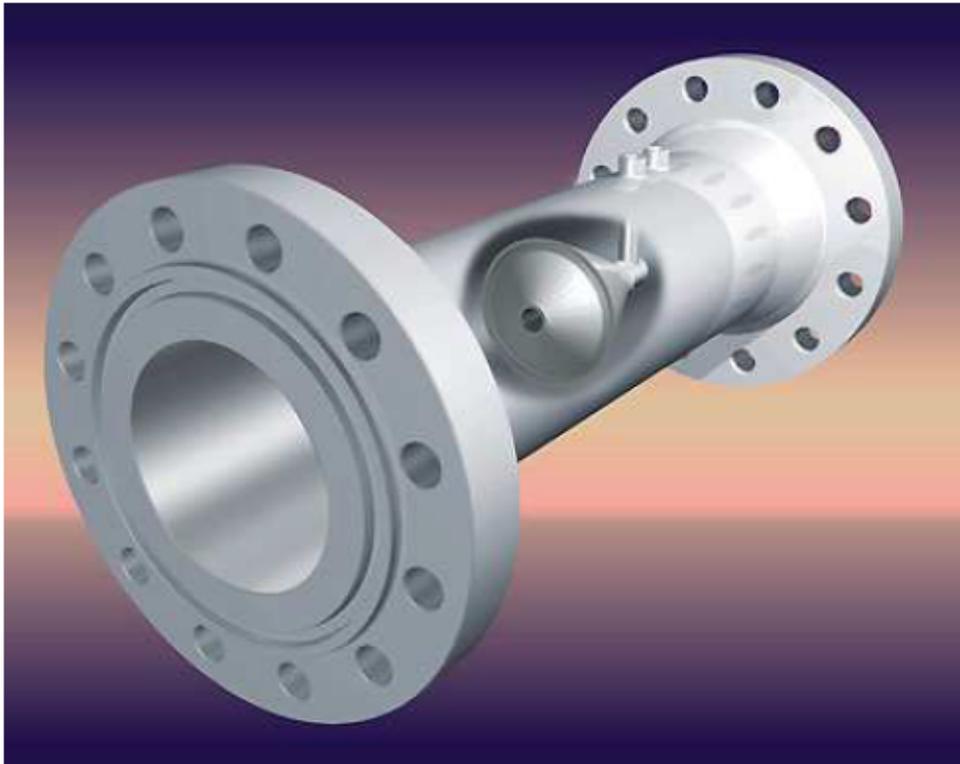
- ✓ Utilizado quando é importante limitar a queda de pressão
- ✓ Consiste em um estrangulamento gradual cônico e uma descarga com saída também suave
- ✓ Utilizado para fluidos sujos e ligeiramente contaminados
- ✓ Utilizado para altas taxas de *turn down* (relação entre o máximo e o mínimo vazão, ex.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

Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Venturi

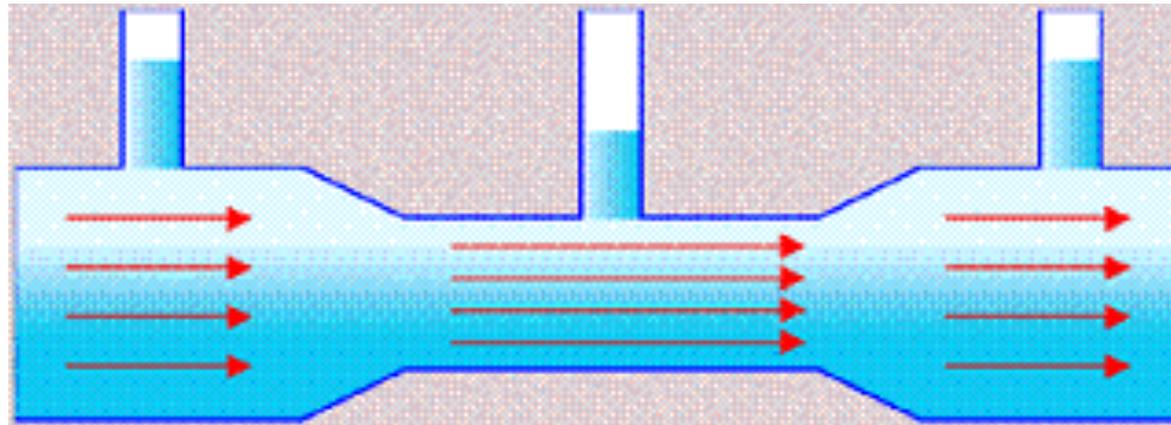
- ✓ Combina dentro de uma unidade simples, uma curta garganta estreitada entre duas seções cônicas
- ✓ Usualmente é instalado entre duas flanges, numa tubulação
- ✓ Seu propósito é acelerar o fluido e temporariamente baixar sua pressão estática
- ✓ A recuperação de pressão em um tubo de Venturi é bastante eficiente
- ✓ 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



Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Venturi



Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Venturi



v_1, p_1

v_2, p_2

v_3, p_3

$$v_1 < v_2$$

$$p_1 > p_2$$

$$v_2 > v_3$$

$$p_2 < p_3$$

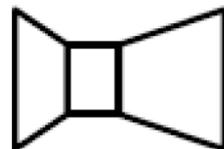
Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Venturi

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Queda de pressão mínima	Alta perda de carga
Minimiza o desgaste e entupimento, permitindo que o fluxo limpe sólidos suspenso através dele sem obstrução	Para maior precisão, cada tubo de 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

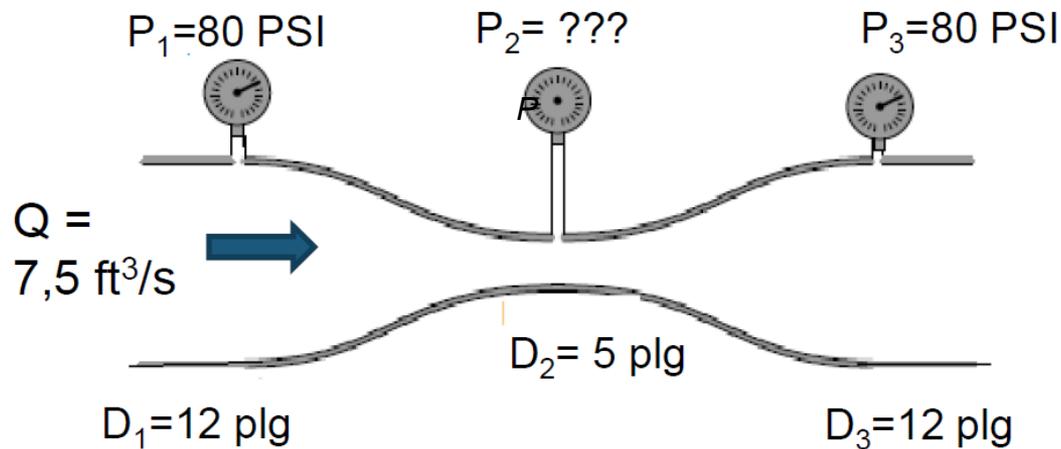


ou



Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Venturi

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



$$P_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 + \rho \cdot v_1^2 / 2 = P_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \rho \cdot v_2^2 / 2$$

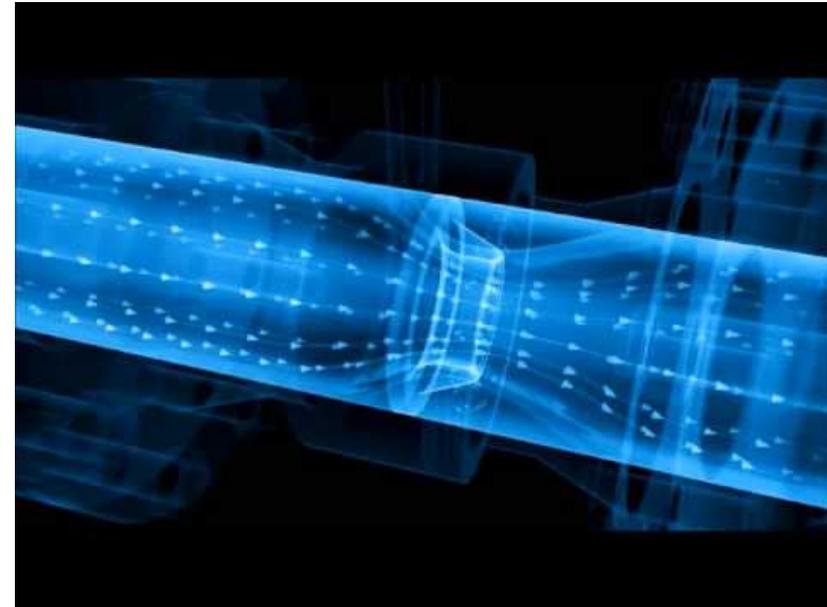
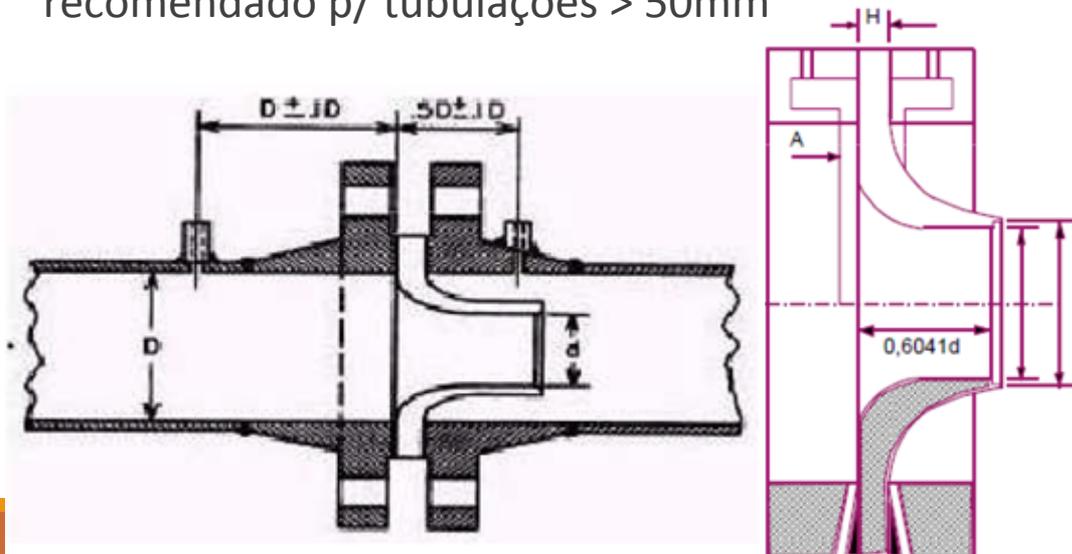
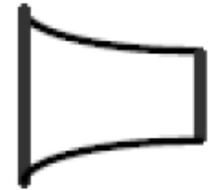
$$g = 32,2 \text{ ft}/\text{s}^2$$

$$P_2 = 60,13 \text{ PSI}$$

Medição por Pressão Diferencial – Bocal

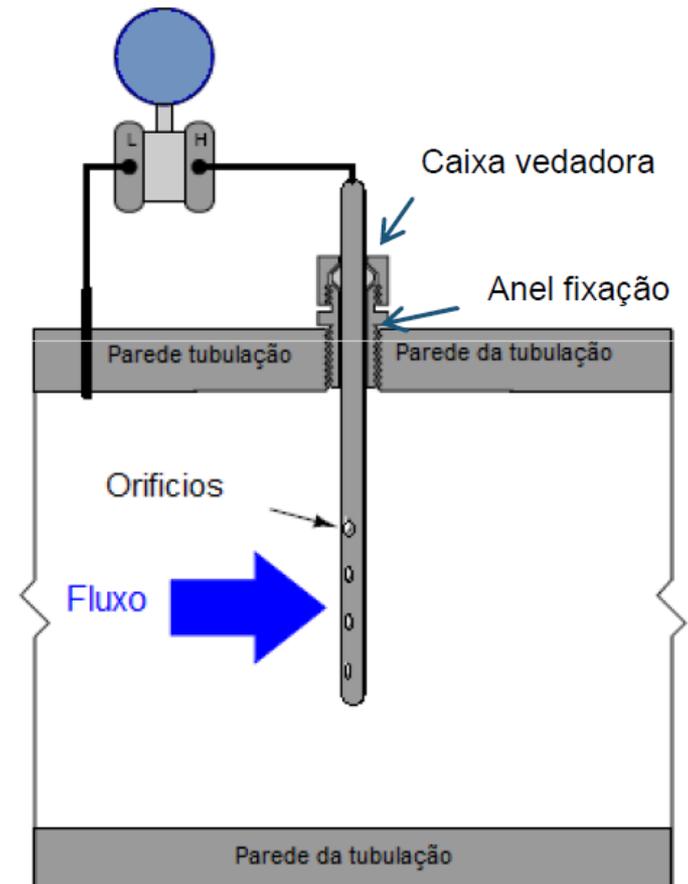
- ✓ O perfil dos bocais de vazão permite sua aplicação em serviços onde o fluido é abrasivo e corrosivo
- ✓ O perfil de entrada é projetado de forma à guiar a veia fluída até atingir a seção mais estrangulada do elemento de medição, seguindo uma curva elíptica (projeto ASME) ou pseudoelíptica (projeto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

Simbologia



Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Pitot

- ✓ Mede a velocidade em um ponto
- ✓ Consiste em um tubo de pequeno diâmetro com uma abertura em sua extremidade, sendo esta colocada na direção da corrente fluída de um duto
- ✓ Caso seja medida a pressão estática com outro tubo, pode-se calcular a velocidade como função da diferença de pressões
- ✓ A diferença da pressão total e a pressão estática da linha fornece a pressão dinâmica, a qual é proporcional ao quadrado da velocidade



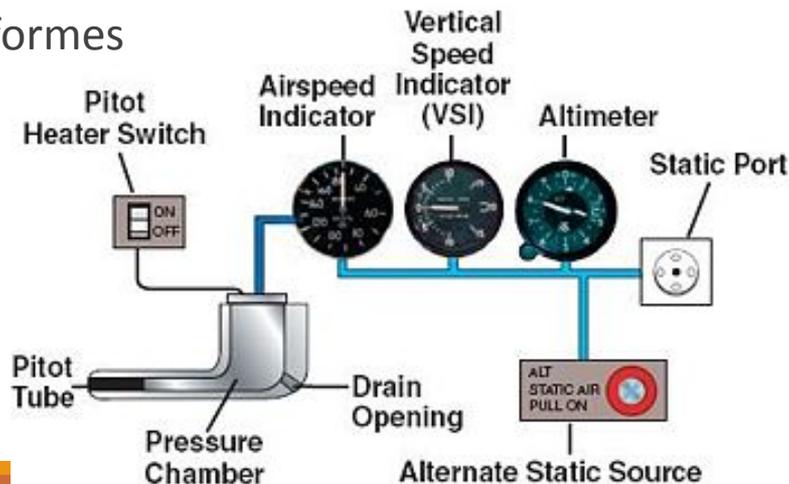
Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Pitot

- ✓ Possibilita o funcionamento de um dos mais importantes instrumentos de uma aeronave, como 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
- ✓ Precisa instalação de drenos adequados, para o gelo, que pode se formar rapidamente, especialmente em formações de nuvens cumuliformes

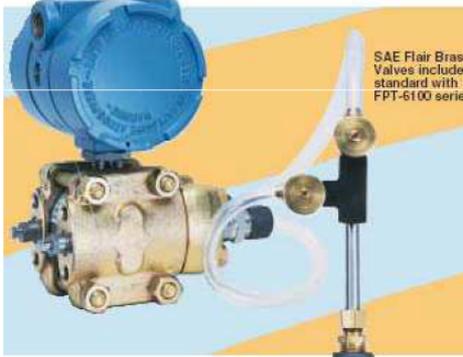
A equação abaixo explica matematicamente o funcionamento do tubo de Pitot

$$P_t - P_s = \left(\rho \cdot v^2 / 2 \right)$$
$$\therefore v = \sqrt{2 \cdot (P_t - P_s) / \rho}$$

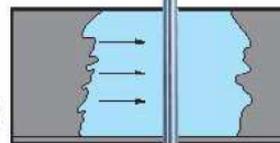
- P_t : pressão total ou de estagnação
- P_s : pressão estática
- v : velocidade aerodinâmica
- ρ : densidade do ar



Medição por Pressão Diferencial – Tubo de Pitot



Model PX-750
Pressure
Transducer
Sold Separately



Model FPT-6100
shown

SAE Flair Brass
Valves included
standard with
FPT-6100 series

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"	3/8"	1064	479	.557	2.30
FPT-6225	444	2 1/2"	3/8"	713	609	.598	2.32
FPT-6230	444	3"	3/8"	510	809	.645	2.34
FPT-6235	453	3 1/2"	3/8"	400	963	.630	2.36
FPT-6240	453	4"	3/8"	328	1119	.656	2.37
FPT-6260	469	6"	3/8"	163	1845	.662	2.45
FPT-6280	493	8"	3/8"	100	2428	.673	2.52
FPT-6281	543	10"	3/8"	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	8295	.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

Simbologia



Standard
pitot tube



Averaging
pitot tube

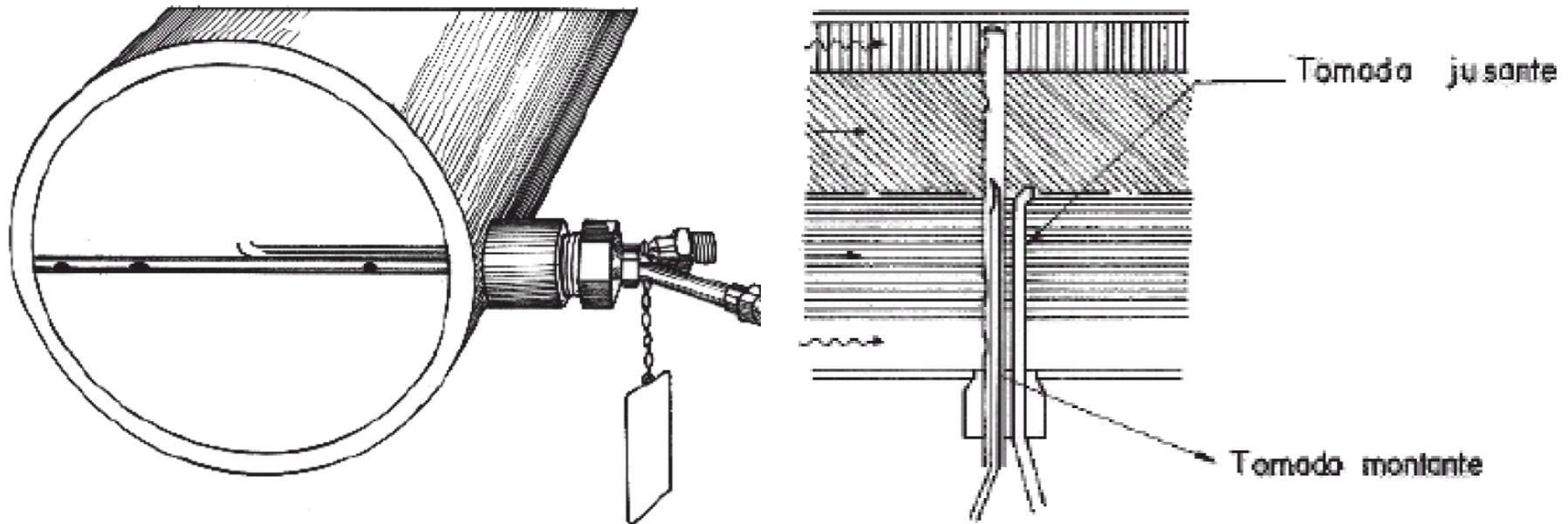
Medição por Pressão Diferencial – Tipo Annubar



- ✓ 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
- ✓ Ideal para a medição de gases ou vapor

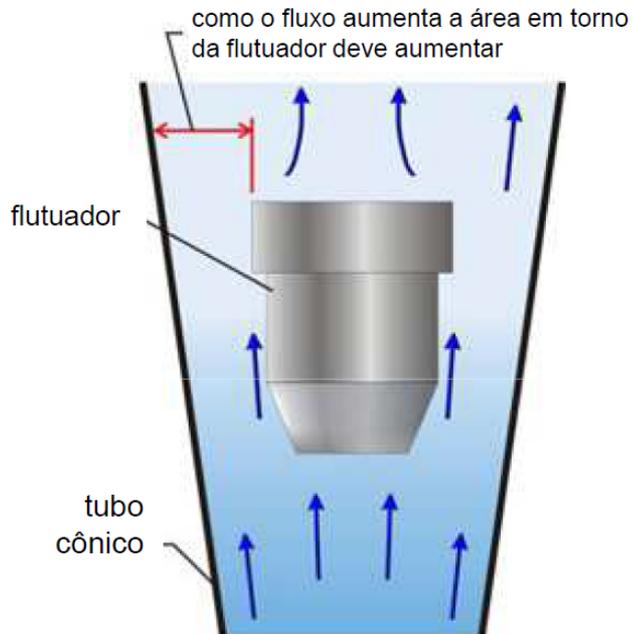


Medição por Pressão Diferencial – Tipo Annubar



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



Rotâmetros

- ✓ Fornecem uma relação linear com a vazão
- ✓ 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 rotâmetro consiste de duas partes
 - Um tubo de vidro de formato cônico, o qual é colocado verticalmente na tubulação em que passará o fluido que se quer medir (a extremidade maior do tubo cônico ficará voltada para cima)
 - No interior do tubo cônico teremos um flutuador que se moverá verticalmente, em função da vazão medida

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



Medidores Especiais de Vazão

- ✓ Os principais medidores especiais de vazão são
 - Medidores com eletrodos Magnéticos
 - Tipo Turbina
 - Tipo Coriolis
 - Vortex
 - Ultra-sônico

Medidores Especiais de Vazão (Medidor Magnético de Vazão)

- ✓ O medidor magnético – aplicado somente para líquidos – é um dos instrumentos mais confiáveis e robustos
- ✓ E 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.

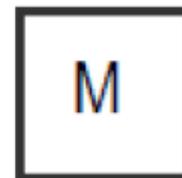


Medidores Especiais de Vazão (Medidor Magnético de Vazão)

- ✓ 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



Simbologia



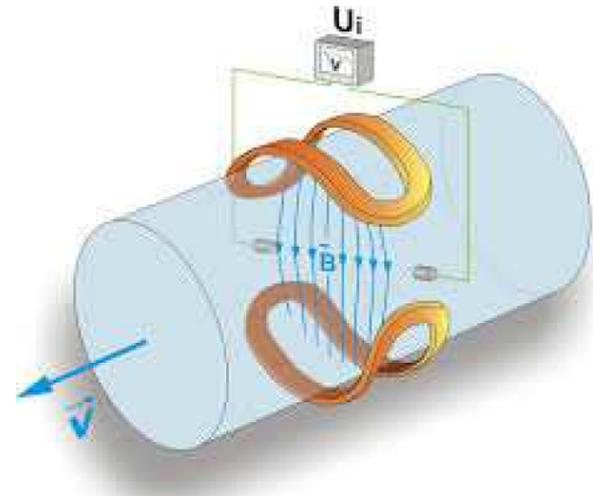
Medidores Especiais de Vazão (Medidor Magnético de Vazão)

- ✓ 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 medido por um par de eletrodos. Conhecendo-se a área da seção do duto, o volume do fluido pode ser



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

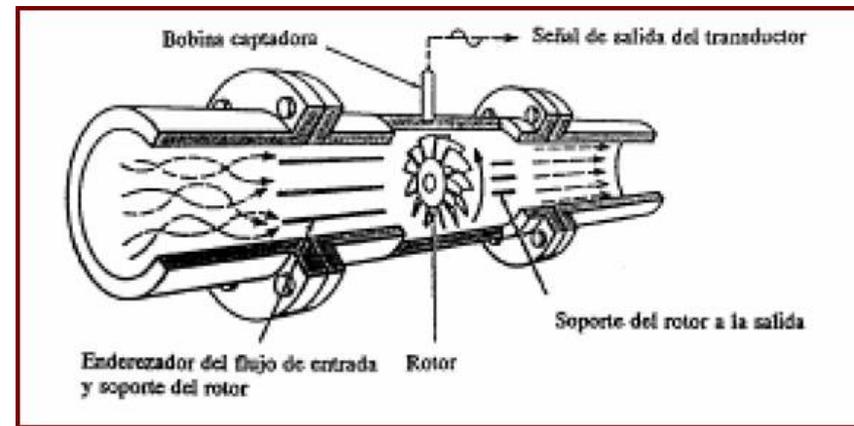
U_e = induced voltage
 B = magnetic induction (magnetic field)
 L = distance between electrodes
 v = flow velocity
 Q = volume flow
 A = pipe cross-section

Medidores Especiais de Vazão (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

Medidores Especiais de Vazão (Tipo Turbina)

- ✓ Constituído basicamente por um rotor montado axialmente na tubulação
- ✓ O rotor é acionado pela passagem de fluido sobre a palhetas em ângulo
- ✓ 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 à velocidade do fluido e a vazão pode ser determinada pela totalização de pulsos



Medidores Especiais de Vazão (Tipo Turbina)

- ✓ São os mais precisos (Precisão de 0,15 a 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, partes móveis e custo elevado, apesar de sua fácil instalação



Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

- ✓ Com este medidor é possível medir vazão mássica 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

Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

- ✓ O princípio de medida é baseado na geração das forças de Coriolis
- ✓ Estas forças estão sempre presentes quando movimentos de translação e rotação ocorrem simultaneamente

$$F_c = 2 \cdot \Delta m \cdot (\omega \times v)$$

F_c = força de Coriolis

Δm = massa do fluido em movimento

ω = velocidade angular

v = velocidade radial em um sistema em rotação ou oscilação

Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

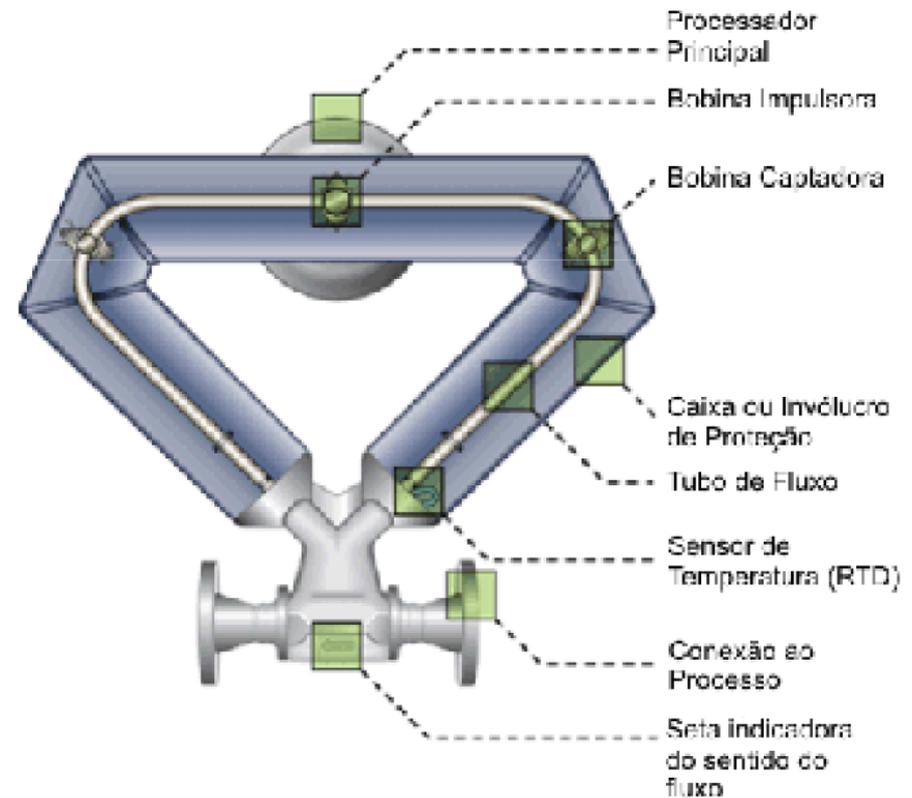
- ✓ Não necessita de trechos retos, justificando as aplicações onde o medidor fica logo após curvas, válvulas, bombas, etc.
- ✓ Resumidamente, um medidor por efeito Coriolis possui dois componentes:
 - tubos de sensores de medição
 - transmissor
- ✓ Os tubos de medição são submetidos a uma oscilação e ficam vibrando na sua própria frequência natural à baixa amplitude, quase imperceptível a olho nu

Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

- ✓ Quando um fluido qualquer é introduzido no tubo em vibração, o efeito 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

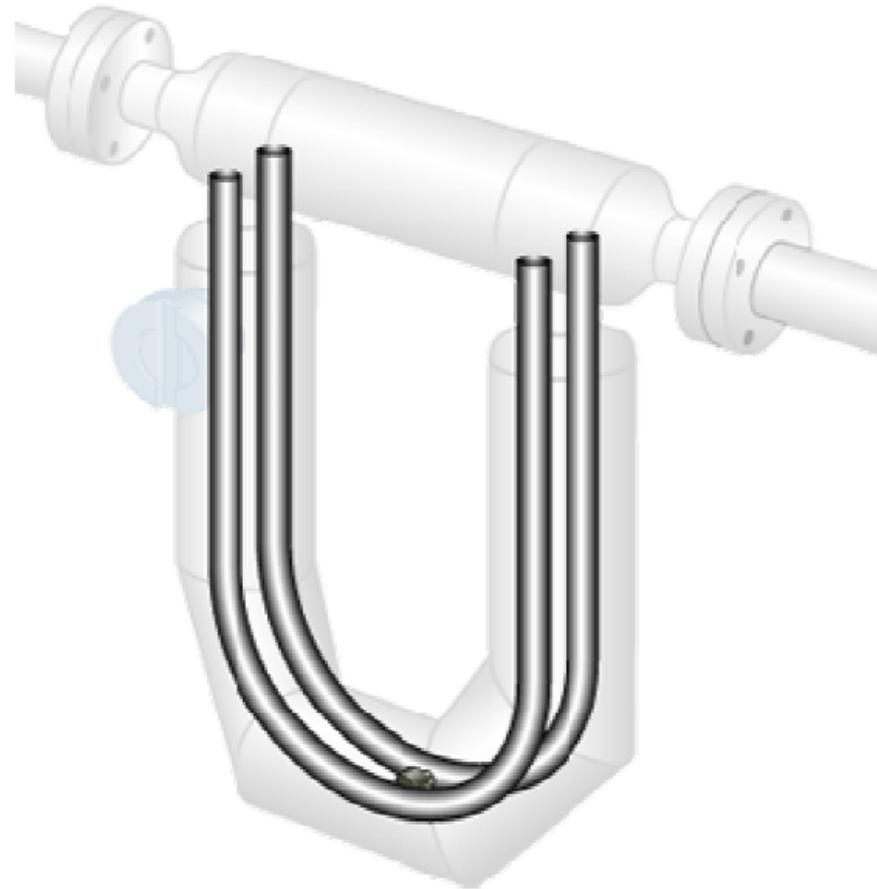
Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

- ✓ 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



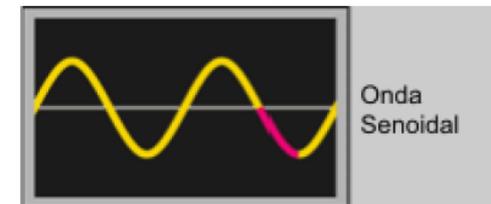
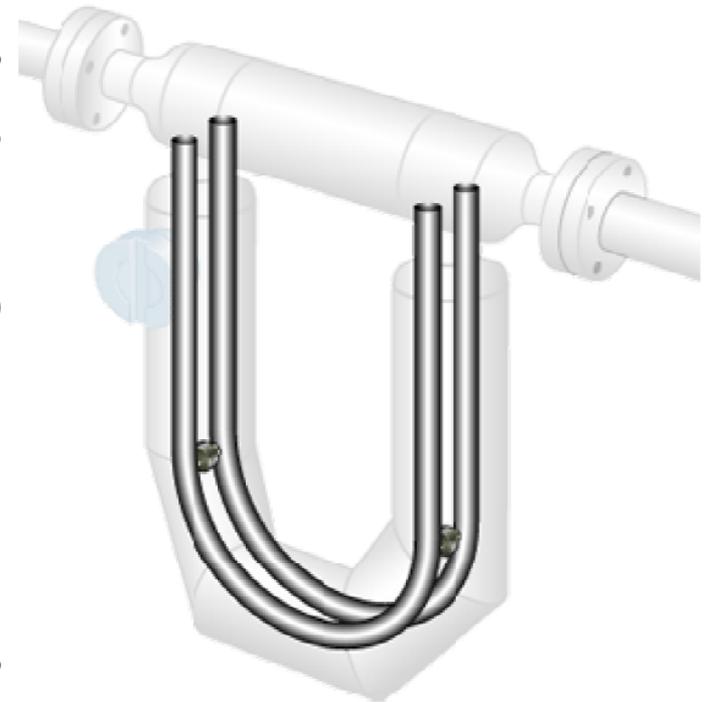
Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

- ✓ Vazão mássica ou volumétrica, temperatura e densidade são medidos simultaneamente
- ✓ Nos medidores de tubos de fluxo duplo, o fluido de processo que entra no sensor é dividido e metade do fluido passa através de cada tubo
- ✓ Durante o funcionamento, uma bobina impulsora é energizada, fazendo com que os tubos oscilem em oposição um ao outro

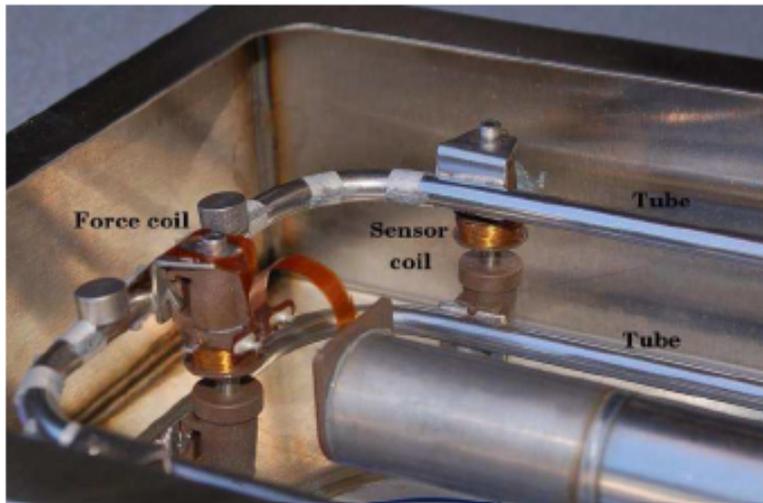


Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)

- ✓ As bobinas captoras são montadas nas laterais de um dos tubos e os ímãs são montados nas laterais do tubo de fluxo oposto
- ✓ Cada bobina se move através do campo magnético uniforme do ímã adjacente
- ✓ A tensão gerada por cada bobina captora cria uma onda senoidal
- ✓ Como os ímãs são montados num tubo e as bobinas no tubo oposto, as ondas senoidais geradas representam o movimento de um tubo em relação ao outro



Medidores Especiais de Vazão (Medidor por Efeito Coriolis)



Simbologia



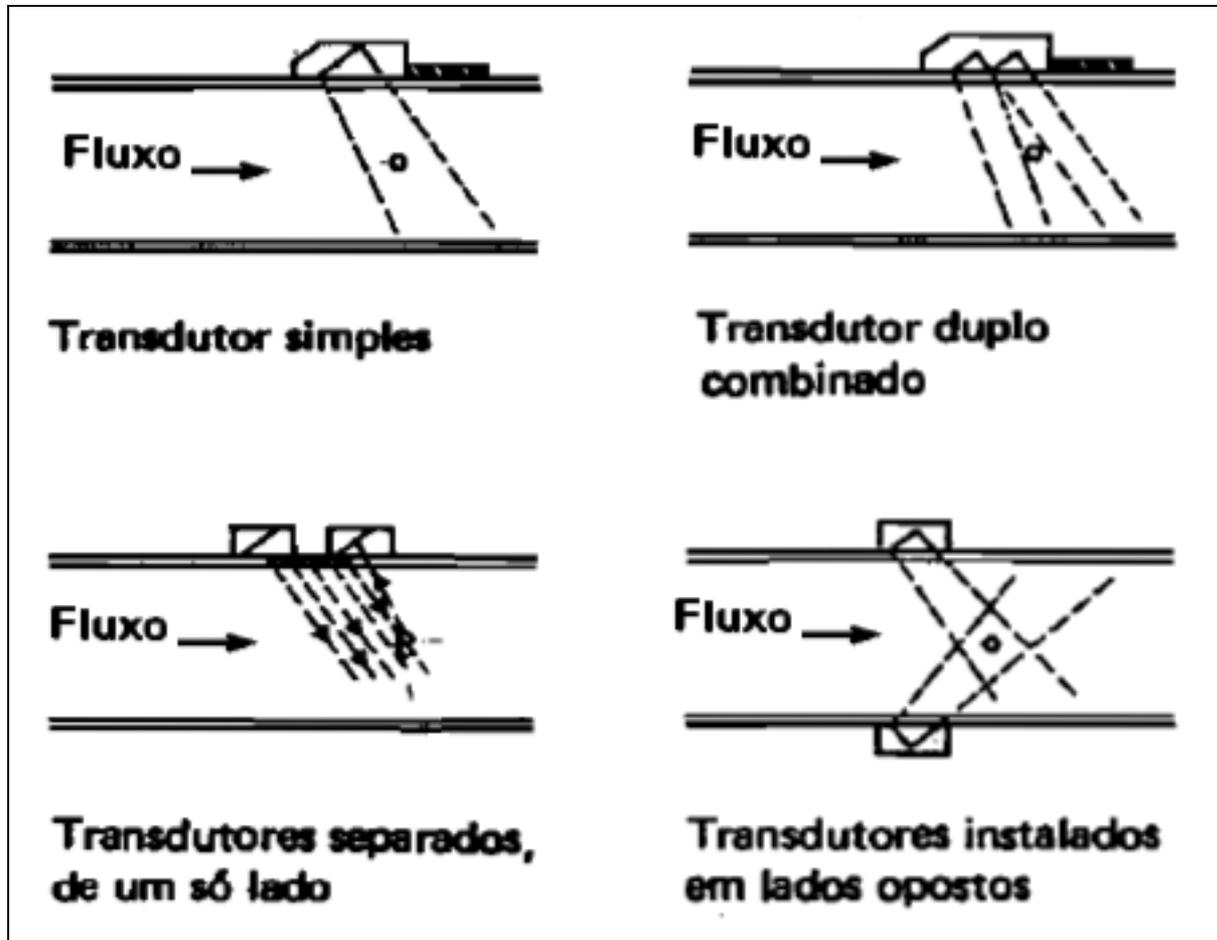
Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

- ✓ Os medidores de vazão que usam a velocidade do som como meio para realizar medição de vazão podem ser divididos em dois tipos principais
 - Medidores a efeito Doppler
 - Medidores de tempo de trânsito
- ✓ Existem medidores ultrassônicos nos quais os transdutores são presos à superfície externa da tubulação, e outros com os transdutores em contato direto com o fluido
- ✓ Os emissores de ultrassons 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

Simbologia



Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)



Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

- ✓ Medidores de Efeito Doppler
 - O efeito Doppler é a 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 (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 adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas capazes de refletir ondas acústicas

Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

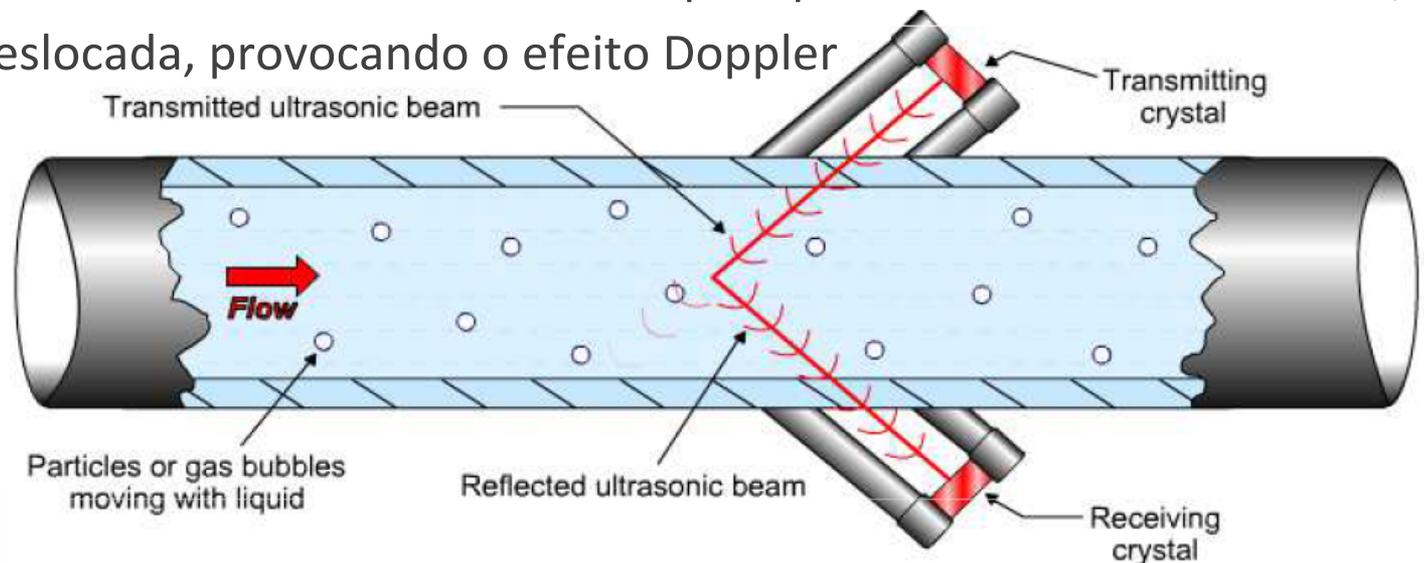
- ✓ Medidores de Efeito Doppler



Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

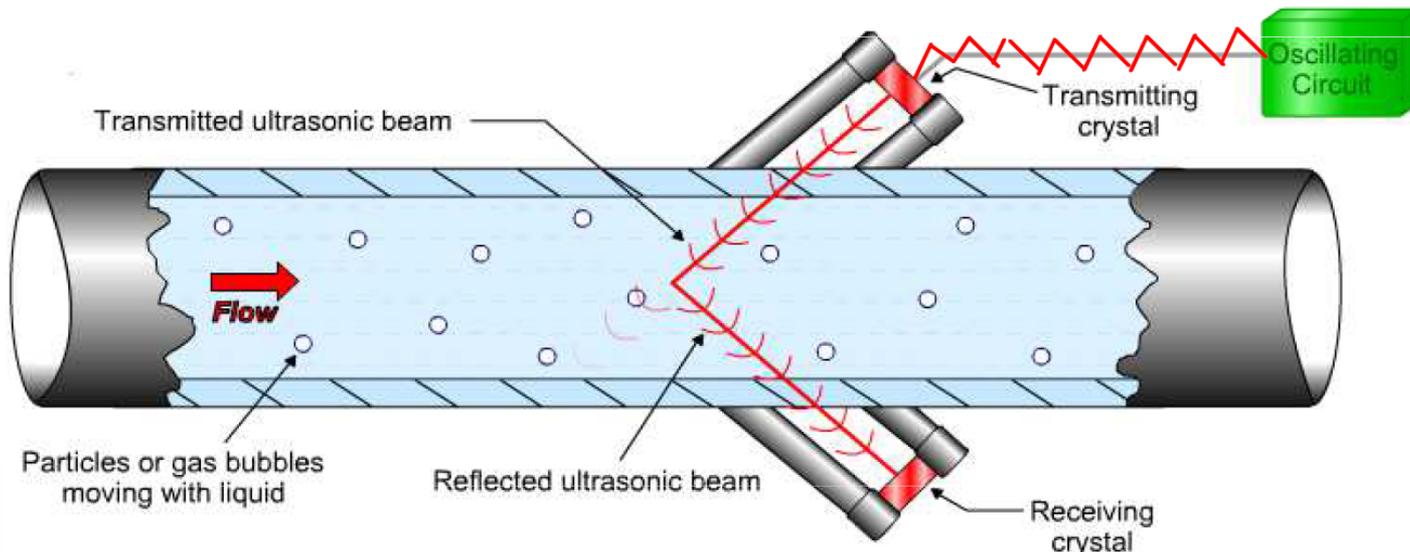
✓ Medidores de Efeito Doppler

- Sensor não invasivo, localizado na parte externa da tubulação e sem contato com o fluido
- As ondas sonoras são propagadas no interior do fluido através das paredes da tubulação
- Quando as ondas sonoras são refletidas por partículas em movimento, a frequência é deslocada, provocando o efeito Doppler



Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

- ✓ Medidores de Efeito Doppler
 - ✓ As ondas sonoras são originadas por um oscilador, dispositivo que envia pulsos de corrente através do cristal piezoelétrico
 - ✓ Os pulsos fazem com que o cristal vibre gerando ondas sonoras que passam através do fluido
 - ✓ As ondas têm uma frequência superior do que aquela que pode ser ouvida por humanos (ultrassom) os pulsos são transmitidos para o líquido seguinte



Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

A frequência aparente f medida pelo observador é:

$$f'/f = (c + v \cdot \cos\theta)/c$$

O comprimento de onda aparente visto pelo receptor é:

$$\lambda''/\lambda' = c/(c - v \cdot \cos\theta) \rightarrow f''/f' = (c - v \cdot \cos\theta)/c$$

O diferencial de frequência é:

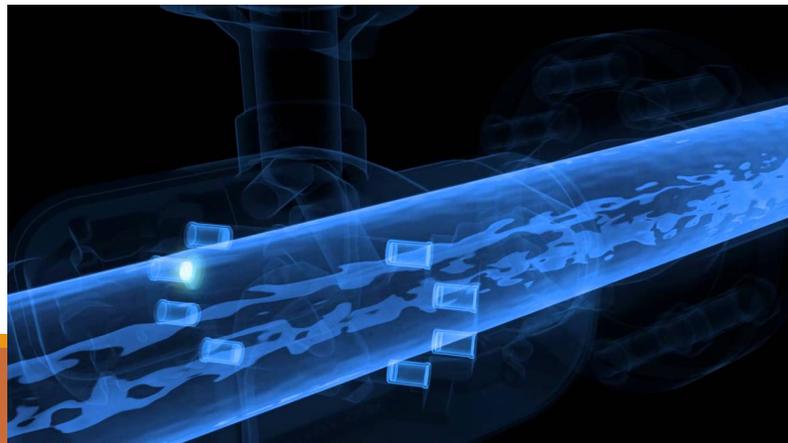
$$\Delta f = f'' - f = [(2 \cdot f)/(c \cdot \cos\theta)] \cdot v \rightarrow v = \Delta f \cdot c / 2 \cdot f \cdot \cos\theta$$

Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

✓ Medidores de Efeito Doppler

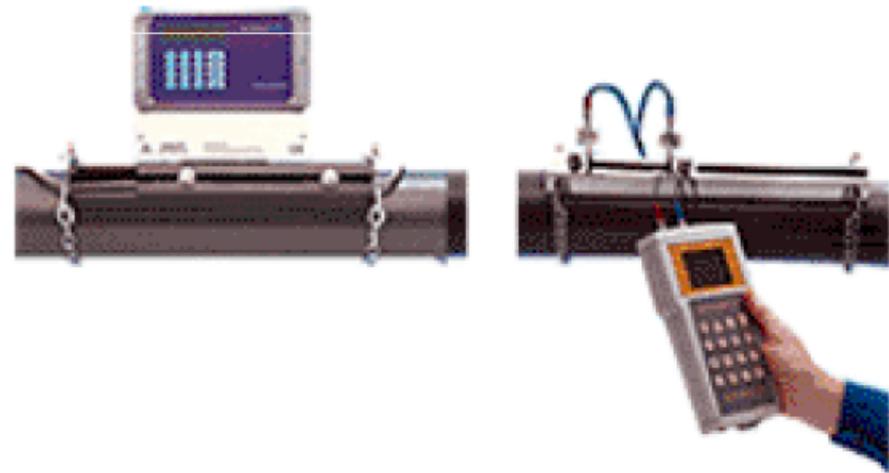
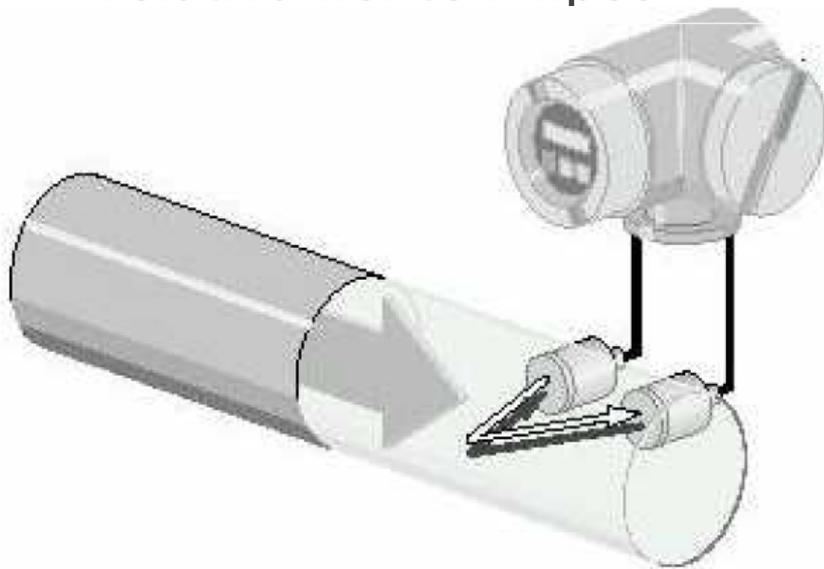
○ Aplicações:

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



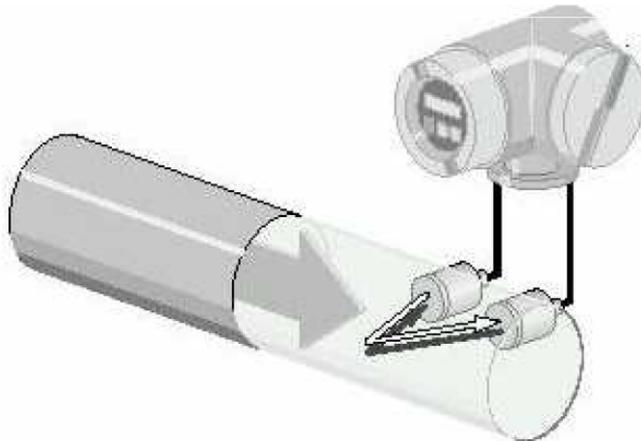
Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

- ✓ Medidores de Tempo de Trânsito
 - Não são adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas
 - Para que a medição seja possível, os fluidos devem estar relativamente limpos



Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

- ✓ 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
 - Pode ser tanto na direção do fluxo, quanto contrário ao fluxo
 - O tempo de trânsito do sinal é medido
 - 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



$$Q = A \cdot v \downarrow m$$

$$v \downarrow m \cdot \cos \theta = L/2 \cdot 1/\Delta t \downarrow ida + L/2 \cdot 1/\Delta t \downarrow volta / 2 \rightarrow$$
$$\rightarrow v \downarrow m = L/4 \cdot \cos \theta \cdot \Delta t \downarrow ida \cdot \Delta t \downarrow volta / \Delta t \downarrow ida + \Delta t \downarrow volta$$

Medidores Especiais de Vazão (Medidores Ultrassônicos)

✓ Medidores de Tempo de Trânsito

○ Aplicação

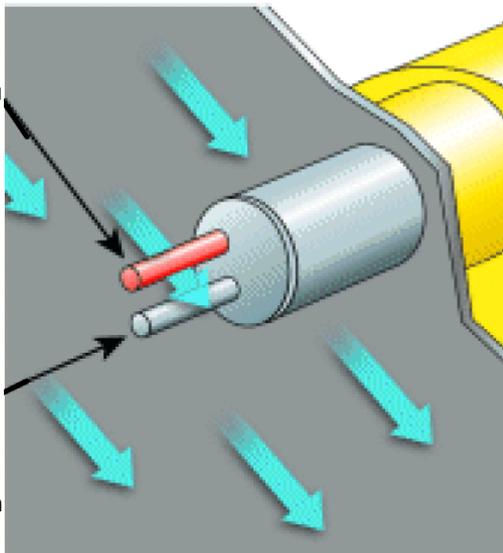
- Fluidos limpos e gases
- Óleos brutos médios na indústria de refino de petróleo.
- Fluidos puros e semicondutores ultrapuros nas indústrias farmacêuticas e de alimentos e bebidas



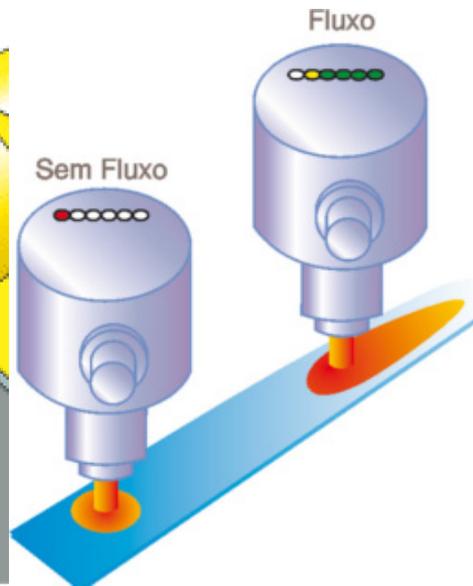
Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão por Dispersão Térmica)

- ✓ Faz uso de dois RTDs de alta precisão
- ✓ Um RTD de referência mede a temperatura do processo e um RTD ativo é aquecido até um valor conhecido (acima da temperatura do fluido) para criar um diferencial de temperatura entre os dois sensores
- ✓ Princípio de funcionamento
 - Quando não há fluxo, o diferencial terá o seu maior valor
 - Quando há fluxo, o RTD ativo começa a arrefecer e diminui o diferencial entre os dois sensores

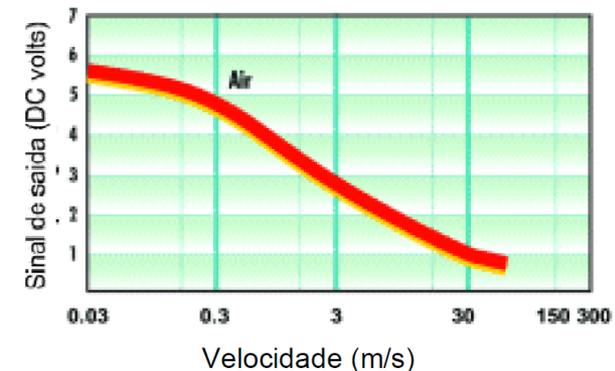
Sensor de temperatura (Pt1000) mais elemento aquecedor para ativar ou sensor aquecedor



Sensor de temperatura (Pt1000) como sensor de referência ou sensor sem aquecimento



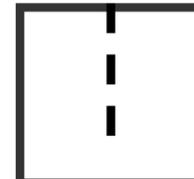
diferencial de Temperatura
↓
diferencial em Resistência
↓
diferencial de Voltagem



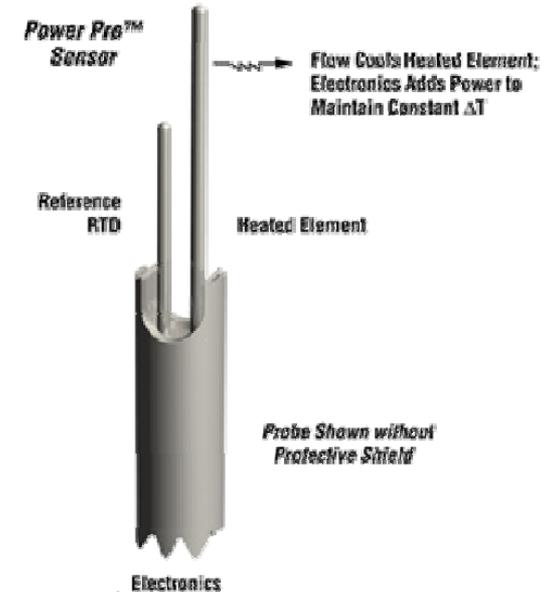
Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão por Dispersão Térmica)

- ✓ 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
- ✓ Recomendado para gases, líquidos limpos/sujos/viscosos e 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

Simbologia



Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão por Dispersão Térmica)

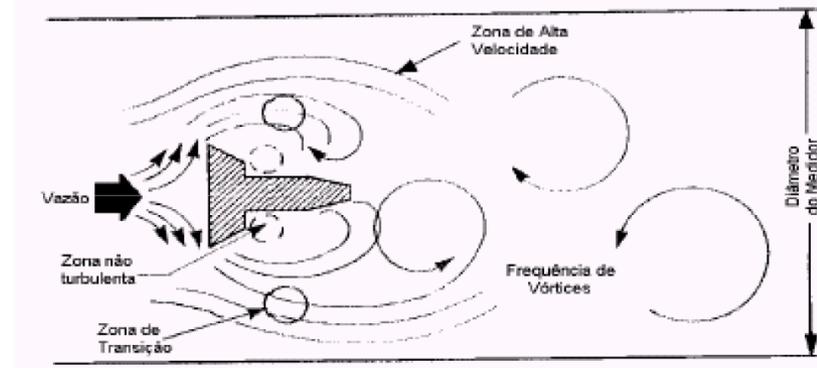


Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão Tipo Vortex)

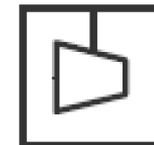
- ✓ O princípio de funcionamento é baseado no vórtice de Karman
- ✓ Quando fluídos fluem através de uma restrição introduzida no duto, vórtices são formados pelos lados
- ✓ A frequência do vórtice proporcional ao fluxo médio e, desta forma, ao fluxo volumétrico

$$Q = A \cdot v \rightarrow$$
$$\rightarrow v = f \cdot d / St$$

f : Frequência de vórtices
 d : Diâmetro do corpo blefe
 St : Número Stouhal (relação entre diâmetro do blefe e intervalo Vortex)
 A : Área do tubo

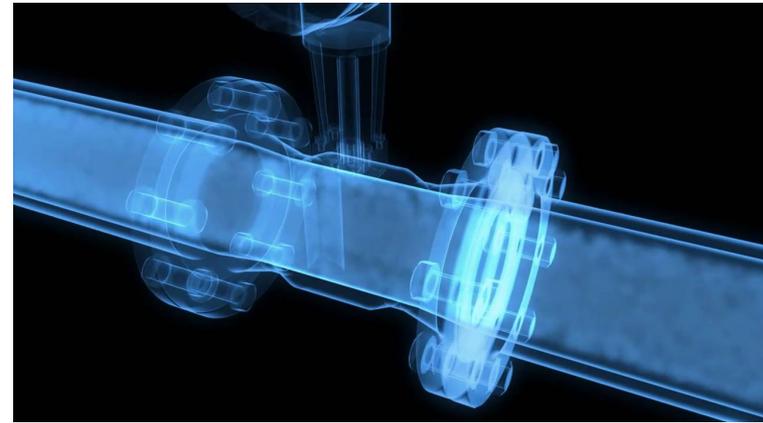


Simbologia



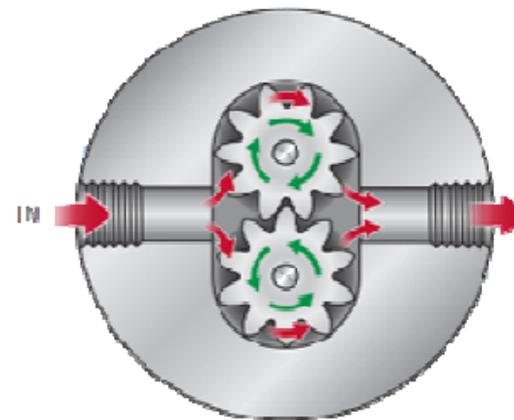
Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão Tipo Vortex)

- ✓ 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

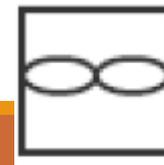


Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão de Deslocamento Positivo)

- ✓ 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

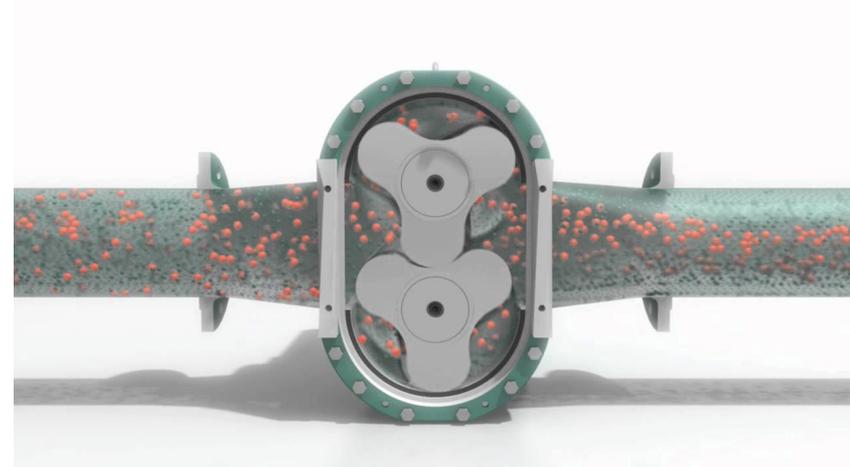
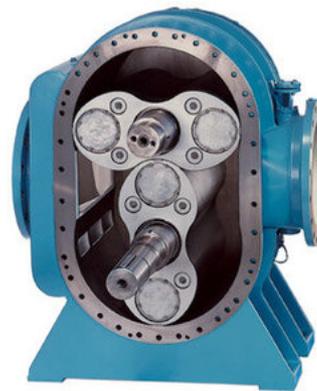
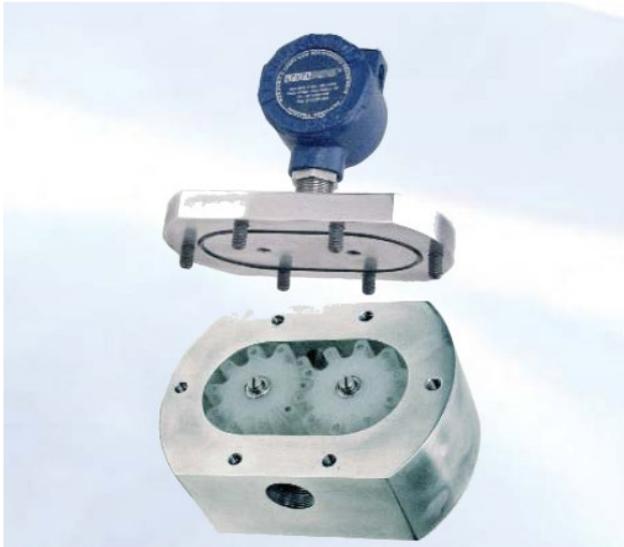


Simbologia



Medidores Especiais de Vazão (Medidor de Vazão de Deslocamento Positivo)

- ✓ Possui sinais de saída pulso ou 4-20mA no cabeçote, o que possibilita o envio do sinal indiretamente a um sistema de supervisão, CLPs, módulos de aquisição de dados
- ✓ Aplicação: óleo BPF, mel, chocolate, resinas, vernizes, asfalto, óleos lubrificantes



Comparação de Medidores de Vazão

Requisito	Orifício	Deslocamento positivo	Vortex	Eletromagnético	Acústico	Coriolis
Exatidão	±2~4% do spam total	±0.2~0.5 % da taxa	±1.0% Da taxa	±0.5% da taxa	±1~5% do Spam total	±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

Comentários Finais

- ✓ 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 no desempenho e custos do equipamento