

Vazão

Líquidos, vapores e gases em movimento, podem ser medidos com relação a sua vazão e volume.

Vazões são volumes determinados por unidade de tempo e podem ser medidas na forma de vazões volumétricas (m^3/h ; L/min), ou vazões mássicas (ton/h ; kg/min).

Medição de Vazão

A vazão de um fluido é a quantidade de material que flui por um determinado local na unidade do tempo. Pode-se medir a vazão instantânea ou a vazão média do material que está escoando, podendo-se ainda estabelecer as condições de pressão e temperatura em que a medição da vazão foi feita.

Vazão em Volume ou Volumétrica - (Q)

A vazão em volume é dada pela relação entre o volume escoado **V** e o tempo **t** que esse volume levou para escoar:

A velocidade de escoamento **v** do fluido em uma distância **h** é dada por:

$$v = h / t$$

No mesmo tempo **t** que o fluido levou para se deslocar, o volume **V** do fluido que passou preenche toda a parte do conduto e é dado por:

$$V = A.h$$

fazendo $t = h / v$, temos:

$Q = V / t$; $Q = (A.h) / (h / v)$; então $Q = A.v$, ou seja, a vazão em volume é igual ao produto da área de seção transversal do conduto pela velocidade de deslocamento do fluido dentro desse conduto.

Vazão em Massa ou Mássica - (W)

A vazão em massa é dada pela relação entre a massa escoada **m** e o tempo **t** que essa massa levou para escoar:

$$W = m / t$$

Como a massa específica ρ é a relação entre a massa **m** e o volume **V**, temos:

$\rho = m / V$ e $m = \rho \cdot V$; então $W = \rho \cdot V / t$; como $V / t = Q$, temos:

$$W = \rho \cdot Q$$

Regimes de escoamento de fluidos em tubulações

Regime Laminar e Regime Turbulento

O escoamento de um fluido numa tubulação pode ser caracterizado por um dos seguintes regimes: o laminar e o turbulento.

Número de Reynolds (Re)

O escoamento em um tubo, depende de quatro variáveis, elas são combinadas em um valor numérico adimensional conhecido como número de Reynolds.

O número de Reynolds de uma instalação é dado por:

$$Re = v D \rho / \mu$$

Onde:

v = velocidade de escoamento.

D = diâmetro da tubulação

ρ = densidade

μ = viscosidade absoluta

Se a instalação apresentar $Re < 2300$, o escoamento será laminar; se $Re > 4000$, o escoamento será turbulento; se $2300 < Re < 4000$, então o escoamento será uma transição entre o regime laminar e o regime turbulento.

Distribuição de velocidades

Nas medições de vazões na indústria o regime de escoamento na maioria dos casos é turbulento. O regime turbulento é caracterizado por um perfil de velocidades mais uniforme que o perfil correspondente ao regime laminar.

Viscosidade

A viscosidade é uma característica das mais importantes dos fluidos já que interfere diretamente no regime de escoamento do mesmo.

Viscosidade absoluta

A viscosidade pode ser definida como sendo a resistência que o fluido oferece ao deslocamento de suas partículas em relação umas as outras.

Viscosidade Cinemática

A viscosidade cinemática ν de um fluido é a relação entre a viscosidade absoluta μ e a massa específica do fluido ρ , à mesma temperatura:

$$\nu = \mu / \rho$$

No sistema internacional (SI) a unidade é o metro quadrado por segundo (m^2/s).

No sistema CGS, a unidade é o stokes. $1 \text{ stokes} = 1 \text{ cm}^2 / \text{s}$.

O centistokes (cSt) é a unidade usada geralmente para líquidos derivados do petróleo: $1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$.

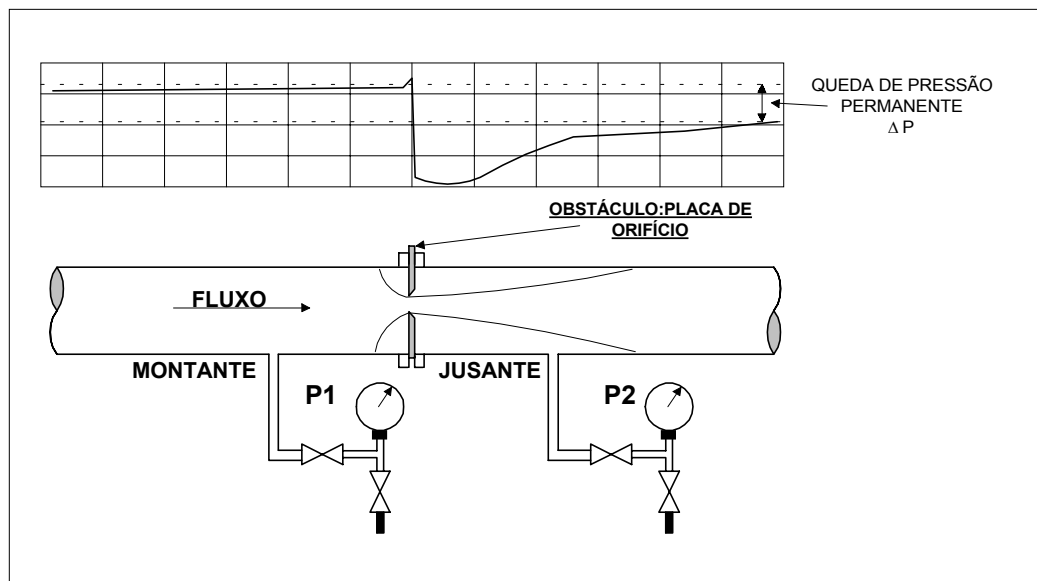
MEDIDORES DE VAZÃO POR PRESSÃO DIFERENCIAL

Para se medir a vazão de um fluido por pressão diferencial, são necessários dois dispositivos:

- a) Um elemento primário capaz de provocar uma perda de pressão no fluido;
- b) Um medidor (geralmente transmissor) de pressão diferencial capaz de medir essa perda de pressão.

Podem ser usados instrumentos tais como: manômetros em U, de foles opostos, de diafragmas, ou transmissores por equilíbrio de forças, sejam estes eletrônicos ou pneumáticos, etc. Na figura a seguir, podemos observar a variação de pressão do

fluido ao longo da tubulação, nas proximidades de um elemento deprimogênio conhecido como placa de orifício.



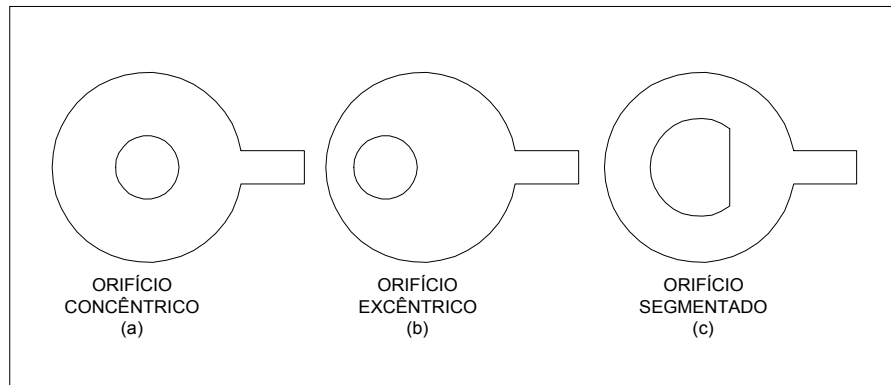
A perda de pressão na linha é causada principalmente pelo aquecimento e ruído que dissipam parte da energia inicial da linha, isto é, à montante.

Os elementos primários de medição de pressão diferencial mais usados são:

- a) Placas de Orifício;
- b) Tubos de Venturi;
- c) Tubo Pitot;
- d) Bocais.

Placas de Orifício

O tipo mais comum consiste numa chapa fina com um furo circular. Três tipos padrões são conhecidos. A mais utilizada é a placa com furo circular concêntrico com a linha central do tubo. Do lado da entrada do fluido a borda do furo deve ser em ângulo reto e do outro lado deve se chanfrada 45°. Outro tipo de placa é a excêntrica, geralmente usada para fluidos contendo material pesado. A placa com furo segmentado é empregada para fluidos contendo sólidos em suspensão.



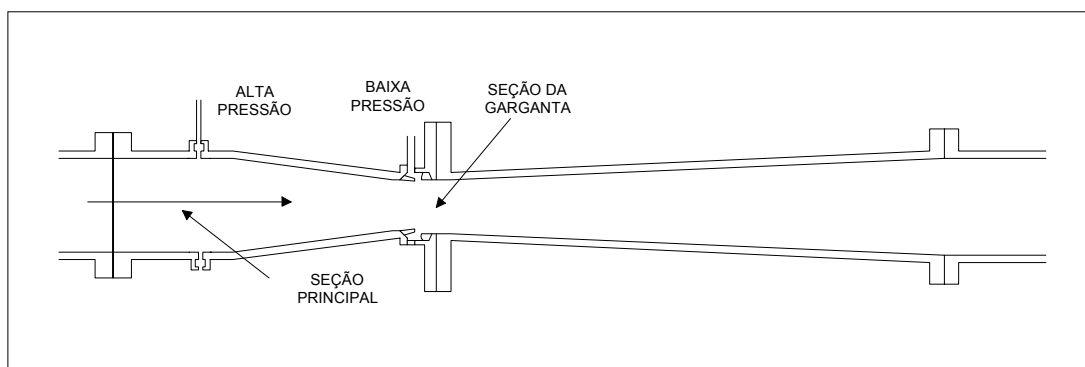
Tipos de placa de orifício:

a) orifício concêntrico; b) orifício excêntrico; c) orifício segmentado.

A placa é colocada entre flanges e as tomadas de pressão podem ser feitas nos flanges, nos tubos ($2\frac{1}{2}D$ e $8D$, antes e depois da placa, D = diâmetro interno do tubo), ou na "vena contracta" (veia contraída), onde a tomada de alta pressão é feita.

Tubo Venturi

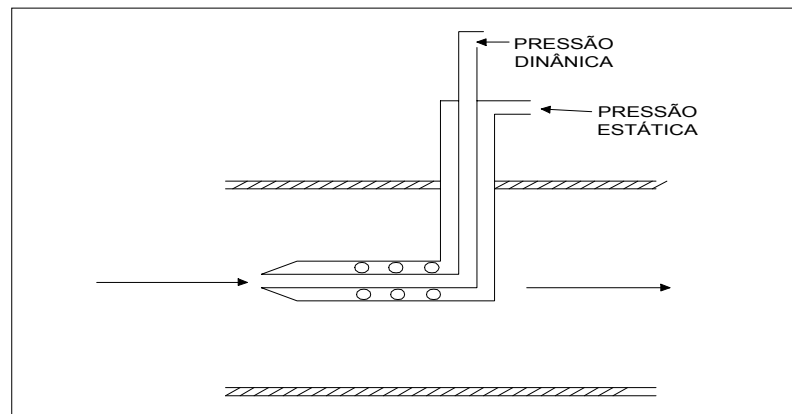
Como se vê na Fig., um tubo Venturi combina, em uma só unidade, um estrangulamento na seção do tubo entre duas ligações para a medida da pressão diferencial. Consta de três partes: uma seção cônica de entrada com diâmetro decrescente, uma seção paralela central e uma seção cônica de saída, com diâmetro crescente. É geralmente usado na medição de líquidos com sólidos em suspensão ou quando se requer uma pequena perda de pressão na linha. A tomada de alta pressão é colocada meio diâmetro a montante do cone de entrada e a de baixa no meio da seção central.



Tubo Pitot

Este instrumento mede a diferença entre a pressão estática e a pressão total dada pela soma da pressão estática e aquela devida a velocidade do fluido. Um tubo Pitot possui duas aberturas para a medição das pressões, uma perpendicular ao eixo do fluxo, sendo esta a tomada de baixa pressão e a outra, com frente para o fluido, fornecendo o ponto de impacto é a tomada de alta.

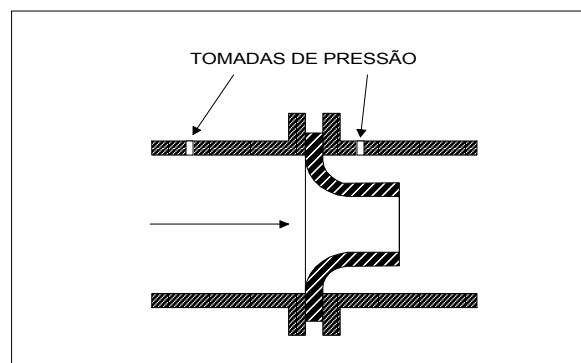
A diferença entre pressão total e a pressão estática da linha nos dará a pressão dinâmica, a qual é proporcional ao quadrado da velocidade.



Bocais

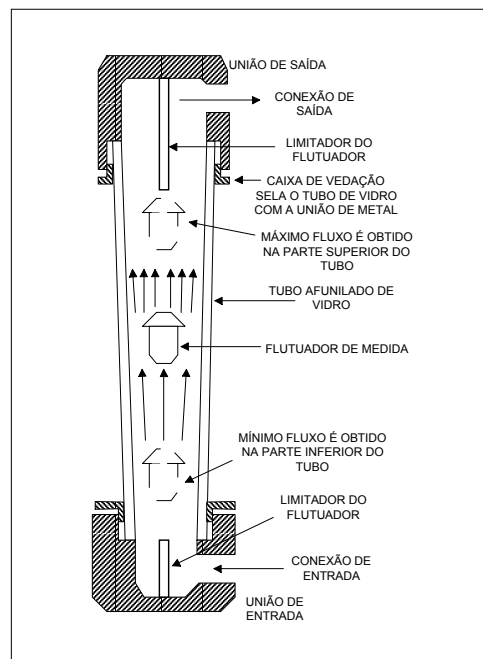
Situada na tubulação com duas tomadas, permite a medição de vazões 60% superiores as de placa de orifício nas mesmas condições de serviço.

A sua perda de carga é 30% a 80% da pressão diferencial. Sua principal aplicação é na medição de vapor com alta velocidade e fluidos que arrastam sólidos em pequena quantidade.

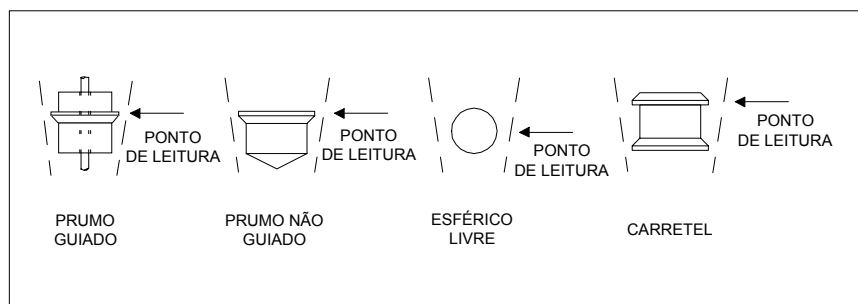


Medidor de Área Variável

Um rotâmetro possui um flutuador colocado dentro de um tubo de diâmetro variável, geralmente de vidro. O lado do diâmetro menor está na parte inferior e é a entrada do fluido. O flutuador alcança uma posição de equilíbrio que é proporcional ao escoamento quando a força ascendente do fluido, passando pelo espaço anular, torna-se igual ao peso (força descendente) do flutuador. A vazão pode ser lida diretamente em uma escala graduada.



Existem vários tipos de flutuadores. Por exemplo:



Outros Medidores de Vazão

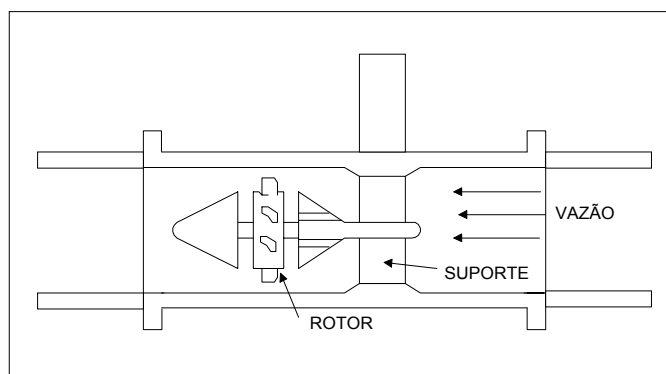
Para outros fins mais particulares são usados vários instrumentos entre os quais temos:

- de turbina;
- magnéticos;
- ultra-sônicos;
- de vórtice;
- coriolis

Medidores tipo TURBINA

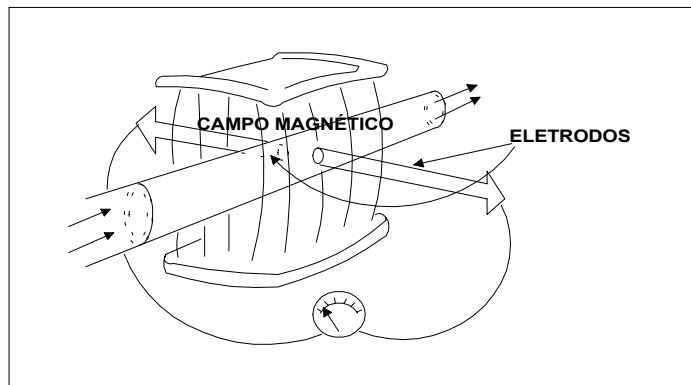
A turbina é um instrumento de excelente precisão mas de confiabilidade limitada. A turbina propriamente dita, peça móvel principal, está numa seção de passagem do fluido. Este pode ser gas ou líquido, mas precisa ser limpo. Os sólidos em suspensão podem interferir na livre rotação da turbina.

Existem dois tipos de turbina: as mecânicas e as eletrônicas. Nas turbinas mecânicas existe a transmissão de movimento através da utilização de engrenagens de precisão. Nas turbinas eletrônicas são usados *pick-off*, sensores de passagem das paletas de turbinas.



MAGNÉTICOS

Consiste na aplicação da lei de FARADAY, em que o condutor móvel é o próprio fluido que, colocado num campo magnético, provoca a geração de uma diferença de potencial proporcional à velocidade média do fluido. A grande limitação de seu uso é que o fluido medido precisa ser líquido e ligeiramente condutor de eletricidade, o que elimina os hidrocarbonetos.



ULTRA-SÔNICOS

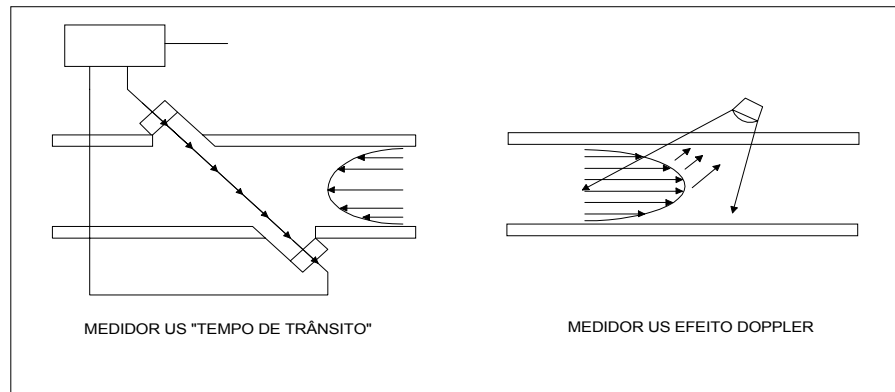
Podem ser intrusivos, isto é, o feixe de ultra-som é emitido e recebido através de furos na tubulação, podem ser também não intrusivos fazendo-se a medição por auscultação.

Nos medidores de tempo de trânsito, o medidor não pode conter partículas estranhas. Um transdutor emissor/detector de ultra som é fixado de cada lado do tubo, formando com o eixo da tubulação um certo ângulo. Os transdutores transmitem e recebem, alternativamente, um trem de ondas ultra-sônicas de pequena duração.

O tempo de duração de transmissão é levemente inferior quando a emissão é orientada para jusante, e levemente superior quando orientada para montante. As diferenças de tempo de trânsito servem de base para a medição de velocidade média do fluido na seção considerada.

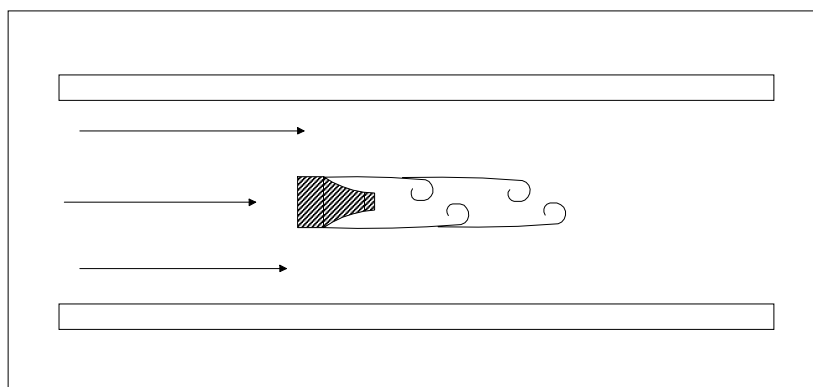
Nos medidores de efeito DOPPLER, são impurezas, partículas ou discontinuidades do fluido que refletem as ondas sonoras. Os transdutores emissores projetam um feixe contínuo de ultra-som na faixa de centenas de Hertz. Os ultra-sons refletidos por partículas veiculadas pelo fluido têm sua frequência alterada proporcionalmente à componente da velocidade das partículas na direção do feixe.

A influência da concentração de partículas do fluido medido afeta sobremaneira a medição de vazão. O resultado é uma medição de velocidade de determinada parcela da seção de escoamento, nem sempre numa relação constante com a vazão.



MEDIDORES TIPO VÓRTICES

Vórtices ou turbilhões aparecem quando se introduz um obstáculo ou quando se provoca uma determinada mudança de direção no escoamento de um fluido. Nos medidores de vórtice, uma barra de formato adequado é colocada transversalmente ao tubo. A partir de uma certa velocidade, os turbilhões começarão a se formar alternadamente de cada lado da barra.

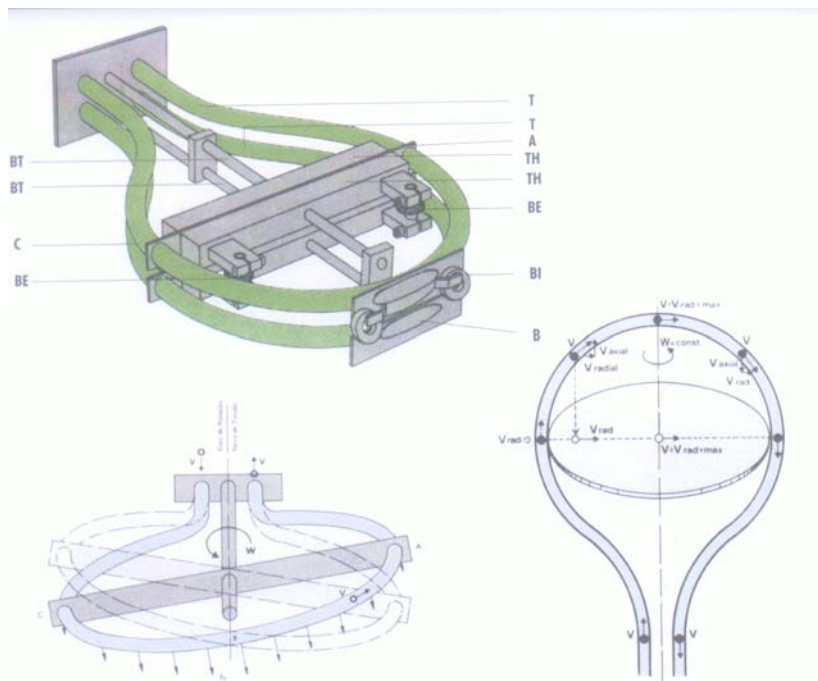


A uma determinada realização corresponde um certo número de Strouhal (S), função de frequência de sucessão de dos turbilhões (f), do obstáculo (D) e da velocidade do fluido (V). Sendo S uma constante e D fixada pelas dimensões do sensor, a frequência de sucessão dos turbilhões é diretamente proporcional à velocidade do fluido. A detecção dos turbilhões pode ser feita por sensores térmicos, extensométricos ou eletromecânicos.

Medidores tipo CORIOLIS

Estes medidores possuem uma grande aplicação nas indústrias química, petróleo, papel, alimentícia, farmacêutica, etc..., e sua medição é independente das variáveis de processo tais como: densidade, viscosidade, condutibilidade, pressão, temperatura, perfil do fluido.

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.



O efeito Coriolis se manifesta toda vez que um corpo se movimenta sobre um sistema em movimento, isto é, quando um fluido qualquer é introduzido no tubo em vibração, causa uma deformação no tubo em forma de uma torção, que é captada por meio de sensores magnéticos que geram uma tensão em formato de ondas senoidais.

O sensor consiste basicamente de um par de tubos, convenientemente dobrados montados em paralelo e conectados à linha percorrida pelo fluido a ser medido através de um bloco de conexão.

Na entrada do bloco de conexão, o fluxo principal é separado em dois fluxos parciais paralelos, que se deslocam uniformemente através do par de tubos, e quase se juntam novamente na saída.

Os tubos, juntamente com as duas hastes e as barras de torção, formam um sistema capaz de oscilar, quando for eletronicamente excitado através de bobinas, com uma frequência natural de vibração, como se fosse um diapásão. Nas extremidades dos semicírculos formados pelos tubos, existem duas bobinas de indução, estas bobinas convertem a oscilação mecânica induzida no sistema em oscilação elétrica gerando duas ondas senoidais proporcionais à velocidade angular de um tubo em relação ao outro.

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 à 20 mA, de frequência (0 à 10 kHz) 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 CLP's, SDCD's, etc...