

# Introdução

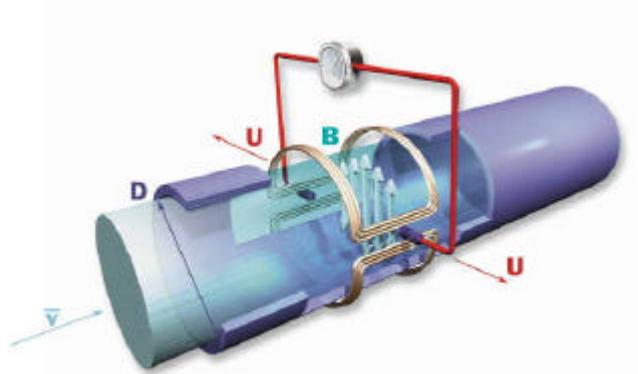
Os caudalímetros são medidores de caudal que se utilizam para medição, controlo e regulação de fluídos electricamente condutivos em condutas fechadas, especialmente nos sectores de Tratamento e Distribuição de Águas, Alimentação, Químico e Energia.



O caudalímetro electromagnético é um dispositivo utilizado para a medição de caudais em condutas fechadas, que utiliza o princípio físico de que num condutor em movimento num campo magnético se desenvolve uma tensão eléctrica aos seus terminais.

# Princípio de funcionamento

O medidor electromagnético é um dispositivo utilizado para a medição de caudais em condutas fechadas, que utiliza o princípio físico de que num condutor que passa por um campo magnético (que é fornecido pelas bobinas montadas as redor da tubagem) desenvolve uma tensão eléctrica aos seus terminais.



Considere-se um tubo no interior no qual circula um fluido, este terá uma distribuição de velocidades longitudinais  $V(D)$ , função do diâmetro, que depende do regime de escoamento, e que tem o seu valor máximo no eixo da conduta. Por meio do conjunto de bobinas colocadas no exterior do tubo é criado um campo magnético uniforme  $B$ , numa determinada secção da conduta.

Os medidores electromagnéticos baseiam-se na lei de Faraday sobre a indução electromagnética que afirma que se um ponto material se deslocar num campo magnético  $B$  com uma velocidade  $V$ , fica sujeito a um campo eléctrico  $E$ , ou seja, quando um condutor eléctrico em movimento corta o fluxo magnético, gera-se uma força electromotriz (fem) através desse condutor. Note-se que essa fem não depende da condutividade do condutor.

$$E = V \times B$$

Baseando-se nesta lei, o medidor electromagnético é um tipo gerador eléctrico.



Nestas condições, cada partícula do fluido no interior do campo magnético ( $B$ ) fica sujeita a um campo eléctrico cuja distribuição diametral é igual à distribuição  $V(D)$  uma vez que  $B$  é constante ao longo do diâmetro. A circulação deste campo eléctrico ao longo do diâmetro, define uma tensão

eléctrica  $U$  que pode ser captada por dois eléctrodos embutidos na parede interna do tubo.

$$U = BDV$$

Esta equação indica que a tensão que se desenvolve entre os eléctrodos é proporcional ao campo magnético, à distância entre os eléctrodos e à velocidade média do fluido. Como  $B$  e  $D$  são constantes para cada medidor electromagnético, designando por  $S$  a secção recta do tubo e por  $Q$  o caudal que o atravessa obtém-se a seguinte equação:

$$U = kQ$$

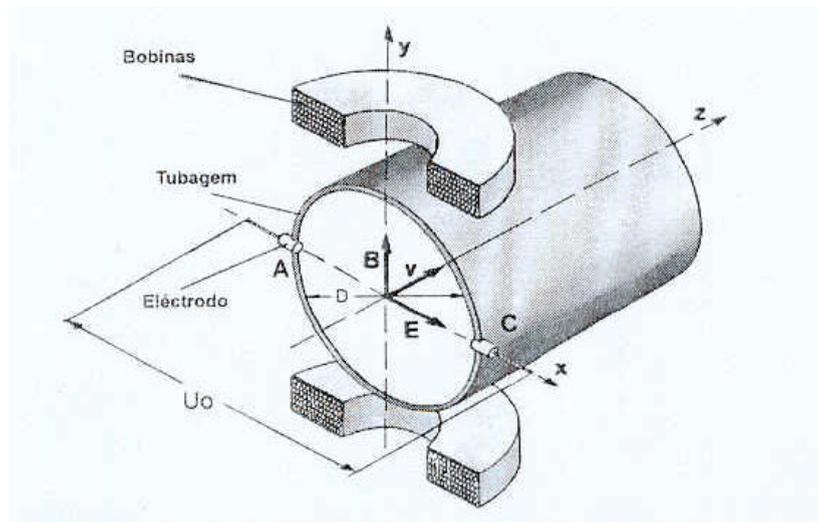
em que  $Q = SV$

Pode concluir-se então que a tensão aos terminais dos eléctrodos é proporcional ao caudal que atravessa o tubo. O transmissor (conversor) de um caudalímetro electromagnético é um dispositivo que converte a tensão eléctrica proveniente dos eléctrodos num sinal normalizado (por exemplo 4-20 mA) que é enviado para o sistema de aquisição de dados ou para o controlador.

# Construção e materiais

O medidor electromagnético consiste num elemento primário que é instalado na tubagem e um conversor de sinal.

O corpo do elemento primário é constituído por um tubo de secção circular em aço inox, latão, bronze, alumínio ou PVC, uma vez que como este tubo é atravessado por um campo magnético não pode ser constituído por material ferromagnético.



No caso do corpo do sensor ser construído em material condutor, o interior da tubagem deverá ser revestido por um material isolador tal como Neoprene, PTFE (teflon) e cerâmica de modo a não curto-circuitar a tensão originada num líquido em movimento.

Os dois eléctrodos embutidos na parede interna do tubo deverão ser de aço inoxidável SS316 ou em hastelloy para o caso de aplicações correntes. Em aplicações com fluidos corrosivos esses eléctrodos deverão ser de titânio ou de platina.

# Características estáticas

Para os caudalímetros electromagnéticos industriais a precisão pode ser melhor do que 0,4 % do valor máximo de medida para velocidades do fluido acima de 0,75 m/s e de 1 % para velocidades inferiores.

Para garantir a precisão dos caudalímetros electromagnéticos recomenda-se que estes sejam instalados entre secções rectas de tubagem.



Existem algumas condições para que se verifique um bom funcionamento do caudalímetro electromagnético:

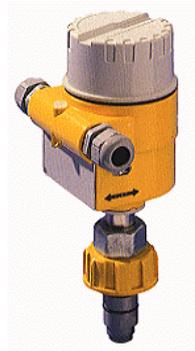
- Temperatura de utilização: O revestimento interno dos caudalímetros electromagnéticos impõe limitações à temperatura do fluido que nele circula. Em qualquer dos revestimentos não deve ser efectuada uma variação brusca de temperatura superior a 50°C.
- Pressão: A pressão que um caudalímetro electromagnético pode suportar depende do seu diâmetro, diminuindo com este.
- Condutividade do fluido: Para que um caudalímetro electromagnético possa funcionar, é exigido um valor mínimo para a condutividade do fluido. Para as aplicações industriais correntes os fabricantes exigem que a condutividade do fluido seja superior a 500 microS/m.
- Densidade do fluido: O caudalímetro electromagnético mede directamente o caudal, ou seja o volume que atravessa a tubagem por unidade de tempo, sendo pois os seus valores independentes da densidade do fluido.
- Gama de medida: Os caudalímetros electromagnéticos constroem-se com uma gama de diâmetros, desde tubos capilares até tubos com alguns metros de diâmetro.
- Viscosidade: As indicações deste dispositivo são independentes da viscosidade do fluido, podendo pois o aparelho ser utilizado com qualquer regime de escoamento, laminar ou turbulento, fluidos newtonianos ou não newtonianos. - Precisão: Para os caudalímetros electromagnéticos industriais a precisão pode ser melhor do que 0.4% do valor máximo de medida para velocidades do fluido acima de 0.75 m/s e de 1% para velocidades inferiores.
- Perda de carga: A perda de carga no interior de um tubo de um caudalímetro electromagnético é nula.
- Sentido do fluido: O caudalímetro electromagnético pode ser utilizado com o fluido a circular em qualquer dos sentidos no interior da tubagem. No entanto as tubagens estão sempre marcadas exteriormente com uma seta. O aparelho deve ser instalado com a seta a indicar o sentido do

# Gama de medida

Os medidores electromagnéticos constroem-se com uma grande gama de diâmetros desde tubos capilares até tubos com alguns metros de diâmetro. Nas secções relativas aos [fabricantes](#), temos diversos exemplos de utilização deste tipo de manómetros em diferentes gamas de medida e condições de operação.

# Calibração

Todos os medidores de caudal requerem uma calibração inicial. Maior parte das vezes, o instrumento é calibrado pelo fabricante para as condições específicas do trabalho. No entanto, se houver pessoal especializado na fábrica onde vai ser usado o medidor, a calibração pode ser feita pelo utilizador. A necessidade de recalibrar, depende de como o medidor se ajusta à aplicação. Alguns líquidos, ao passar no medidor de caudal, tendem a ser abrasivos, erosivos ou corrosivos. Com o tempo, parte do instrumento começa a deteriorar-se de maneira a afectar o seu desempenho.



Se a aplicação é crítica, a exactidão do medidor deve ser inspeccionada em curtos intervalos de tempo. Há casos em que a recalibração não é necessária durante anos porque a aplicação não é crítica ou porque nada afecta o desempenho do instrumento.

Um dos aspectos a ter em conta é o sentido do fluido, que se pode efectuar em ambas as direcções. Caso se inverta a direcção do fluido, a calibração do caudalímetro electromagnético deverá ser efectuada com o zero ao centro, por exemplo 4mA para -30 l/s e 20 mA para +30 l/s. Consequentemente a corrente de saída será de 12 mA para 0 l/s.

Alguns medidores de caudal requerem equipamento especial para a calibração.

# Seleccção

*A temperatura será um factor a ter em conta na escolha de um medidor electromagnético?*

Sim, o revestimento interno do medidor impõe limitações à temperatura do fluido que nele circula. Assim se o revestimento for de:

- Neoprene, a temperatura do fluido deve variar de [-20 °C, 90 °C]
- PTFE, a temperatura do fluido deve variar de [-30 °C, 130 °C]
- Cerâmica, a temperatura do fluido deve variar de [-30 °C, 180 °C].

Deve-se ter em conta que nunca se deve efectuar uma variação brusca de temperatura (superior a 50 °C) para qualquer tipo de revestimento.

*Qual a pressão que um caudalímetro pode aceitar?*

Esta pressão depende do diâmetro do caudalímetro, diminuindo com este. Para diâmetros até 25 mm suporta uma pressão de fluido até 350 Kg/cm<sup>2</sup>, para diâmetros mais elevados, de 500 mm, a pressão máxima é 50 Kg/cm<sup>2</sup>.

Que outras características do fluido podem ou não influenciar na escolha de um caudalímetro?

- Condutividade do fluido: para aplicações industriais correntes os fabricantes exigem que a condutividade do fluido seja superior a 500 µS/m.
- Viscosidade do fluido: este dispositivo é independente da viscosidade do fluido. Pode ser utilizado com qualquer regime de escoamento: laminar ou turbulento, fluidos Newtonianos ou não Newtonianos.
- Densidade do fluido: o caudalímetro mede directamente o caudal, sendo pois os seus valores independentes da densidade do fluido.

*Qual o diâmetro da secção recta da tubagem do caudalímetro?*

O caudalímetro não tem que ter obrigatoriamente o diâmetro igual ao da tubagem onde vai ser inserido. Em primeiro lugar, é necessário calcular o caudal máximo na tubagem onde o caudalímetro vai ser inserido. Seja QM este valor. A selecção do diâmetro do tubo faz-se tendo em conta que a velocidade do fluido não deverá exceder um valor máximo VM. Nestas condições a secção teórica será

$$St = QM/VM$$

a que corresponde um diâmetro  $Dt = 2 (St/\pi)^{1/2}$

Normalmente é-se conduzido a uma secção inferior à da tubagem do processo, pelo que será necessário instalar cones de redução.

# Custos e fabricantes

A tabela seguinte apresenta o custo de alguns medidores e acessórios (para a série FMG-80) da firma Omega.

Medidores electromagnéticos	Série FMG-700	de \$2675 a \$4200
	Série FMG-80	de \$2220 a \$3420
Acessórios	Conversor FMG-11	\$2364
	Cabo interconecto	FMG-C1 \$60



[www.omega.com](http://www.omega.com)



[www.kobold.com](http://www.kobold.com)



[www.krohne.com](http://www.krohne.com)



[www.foxboro.com](http://www.foxboro.com)

# Vantagens e desvantagens

## *Vantagens*

- Como vimos anteriormente a velocidade do fluxo é directamente proporcional ao caudal. A f.e.m. também é directamente proporcional à velocidade do movimento do condutor, ou seja, do fluxo, neste caso. Em vista disso e da sua boa sensibilidade, utilizam-se estes medidores para medir caudais que variam na razão 1:100.
- A perda de pressão introduzida por estes medidores é muito baixa. São por isso de grande utilidade na medida de caudais muito elevados.
- Não tem perda de carga
- Boa precisão e sensibilidade
- Serve para fluxos pulsantes e o efeito de turbulência do fluxo é desprezável
- Serve para líquidos com sólidos em suspensão, líquidos viscosos e corrosivos, pois o tubo pode ser revestido de material anti-corrosivo, tais como Teflon, Neoprene, vidro, etc. Todavia o depósito de impurezas no tubo causa erros.
- Desde que a selecção e a montagem do instrumento sejam correctas, a conservação necessária é reduzida.
- Estes medidores podem gerar um sinal de saída pneumático ou eléctrico para fins de registo, transmissão, controlo, etc.



## *Desvantagens*

- Uma das dificuldades deste método de medida consiste no baixo valor da f.e.m. (poucos milivolts) e do aparecimento em várias partes do circuito de f.e.ms induzidas pelos campos magnéticos existentes nas instalações fabris. É necessário então a utilização de um amplificador electrónico que permita a amplificação da f.e.m. induzida e o anulamento de todos os sinais parasitas.
- Servem somente para líquidos com o mínimo de condutibilidade (acima dos 20 microohms/cm)
- Elevado custo