

PTC3421 – Instrumentação Industrial

Vazão – Parte IV

V2020A

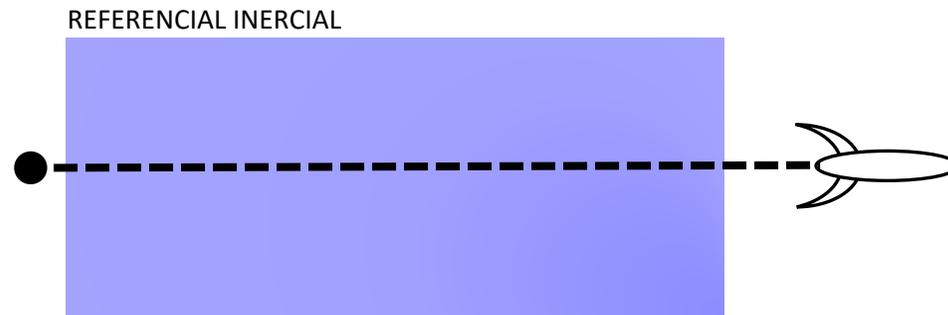
PROF. R. P. MARQUES

Sensores

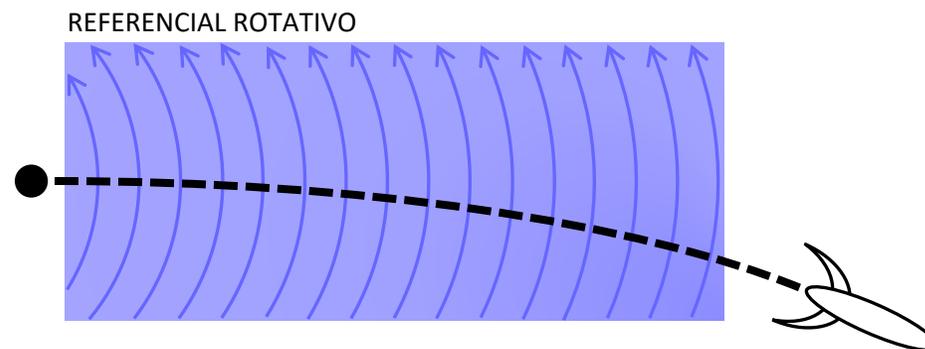
MECÂNICOS	Pistões	Vazão volumétrica
	Engrenagens	Vazão volumétrica
	Rotâmetros	Vazão volumétrica
	Turbinas	Vazão volumétrica
	Disco de nutação	Vazão volumétrica
	Vórtice	Vazão volumétrica
PRESSÃO	Placas de orifício	Vazão volumétrica
	Bocais de vazão	Vazão volumétrica
	Venturis	Vazão volumétrica
	Tubos de Pitot	Vazão volumétrica
	Medidores centrífugos	Vazão volumétrica
EFEITO CORIOLIS		Vazão mássica
ELETROMAGNÉTICOS		Vazão volumétrica
TÉRMICOS		Vazão mássica
ULTRASSOM (efeito Doppler, tempo de viagem)		Vazão volumétrica

O Efeito Coriolis

O EFEITO CORIOLIS (1835) ou FORÇA DE CORIOLIS é um tipo de força inercial que aparece quando se observa movimento a partir de um referencial rotativo (e portanto não inercial).



O projétil se desloca em movimento retilíneo uniforme (sem força atuante). Assim parece ao observador.



O projétil também se desloca em movimento retilíneo uniforme (sem força atuante). Ao observador parece que uma força atua sobre o objeto, deslocando-o para a direita.

O Efeito Coriolis

Demonstração



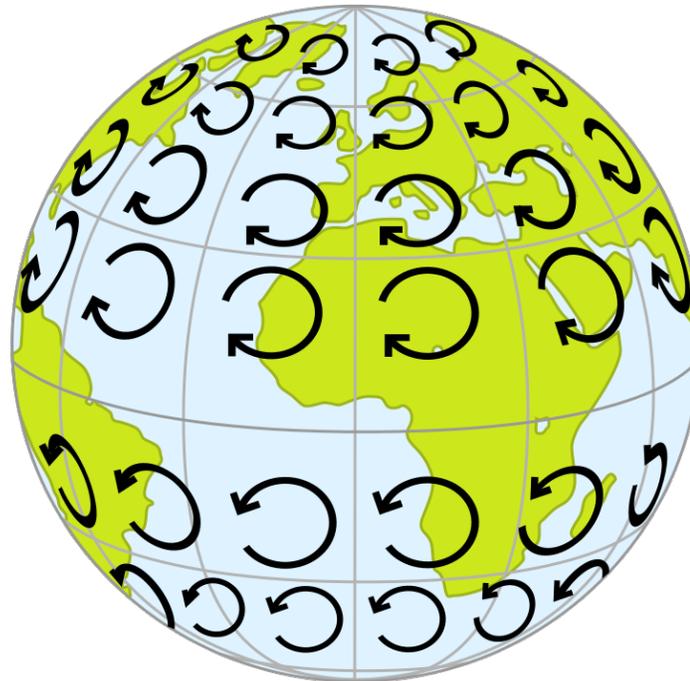
Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=dt_XJp77-mk

O Efeito Coriolis

O Referencial Terra

A rigor o solo não é um referencial inercial, pois o planeta Terra está em rotação. Em geral o efeito Coriolis é muito sutil para ser percebido à nossa volta, mas ele está presente.

O efeito Coriolis explica por exemplo o movimento de rotação de furacões, tufões e ciclones.

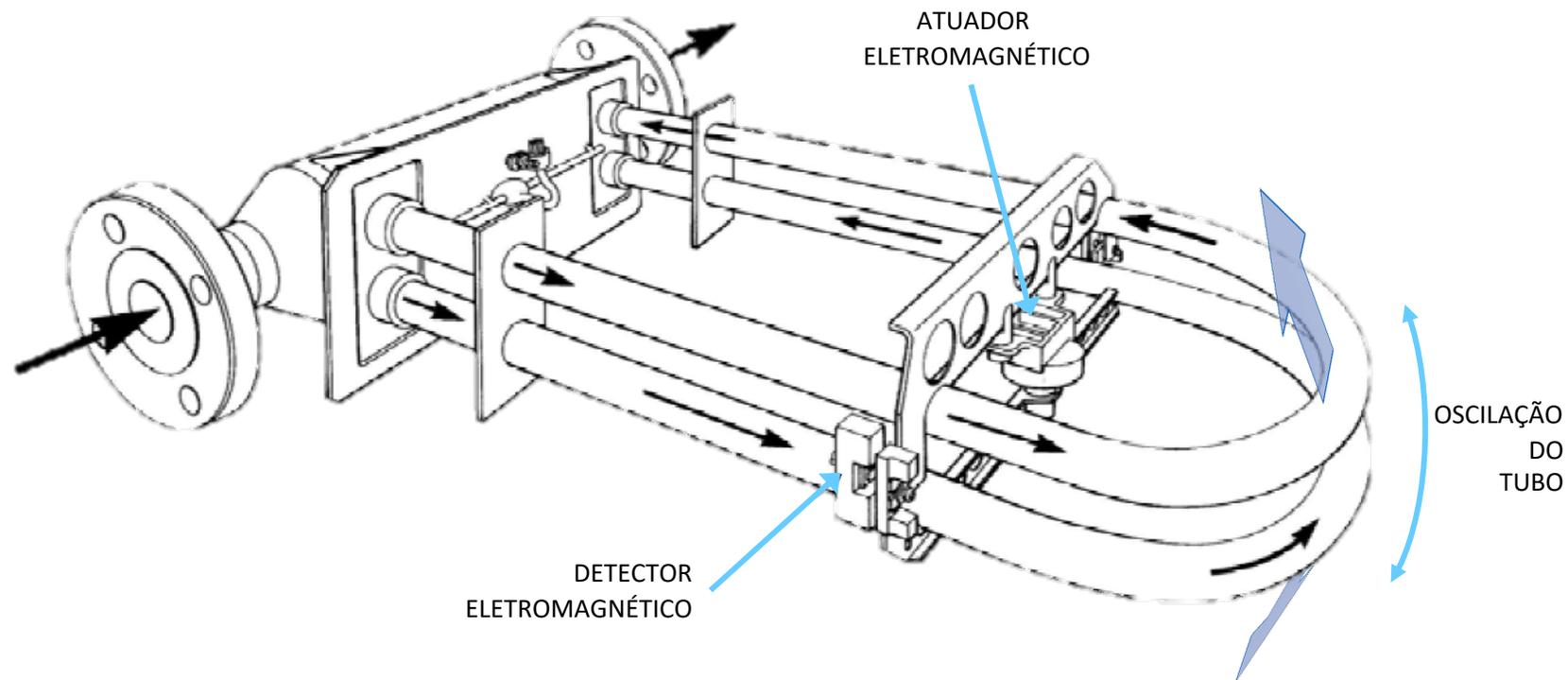


OBS. A Terra também está em translação ao redor do Sol, o que gera efeitos ainda mais sutis.

O Efeito Coriolis

Medidores Coriolis

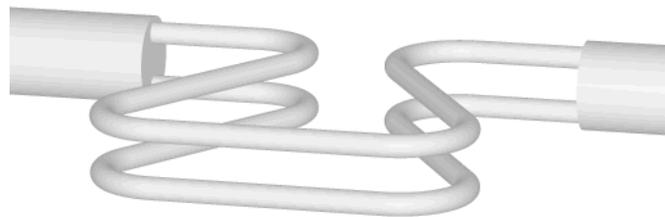
Um medidor Coriolis consiste em um ou dois tubos curvados, que sob excitação (usualmente via uma bobina eletromagnética) vibram transversalmente. A frequência natural de oscilação do sistema é uma função de suas características construtivas e da densidade do fluido.



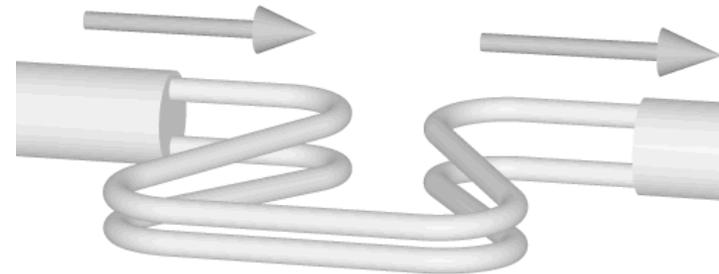
O Efeito Coriolis

Medidores Coriolis

Quando há escoamento, além da vibração transversal, os tubos também sofrem um torque torsional devido ao efeito Coriolis e vibram longitudinalmente, o que é percebido pelos detectores eletromagnéticos. A diferença de fase entre o movimento dos detectores é uma função da vazão mássica do fluido.



SEM ESCOAMENTO



COM ESCOAMENTO

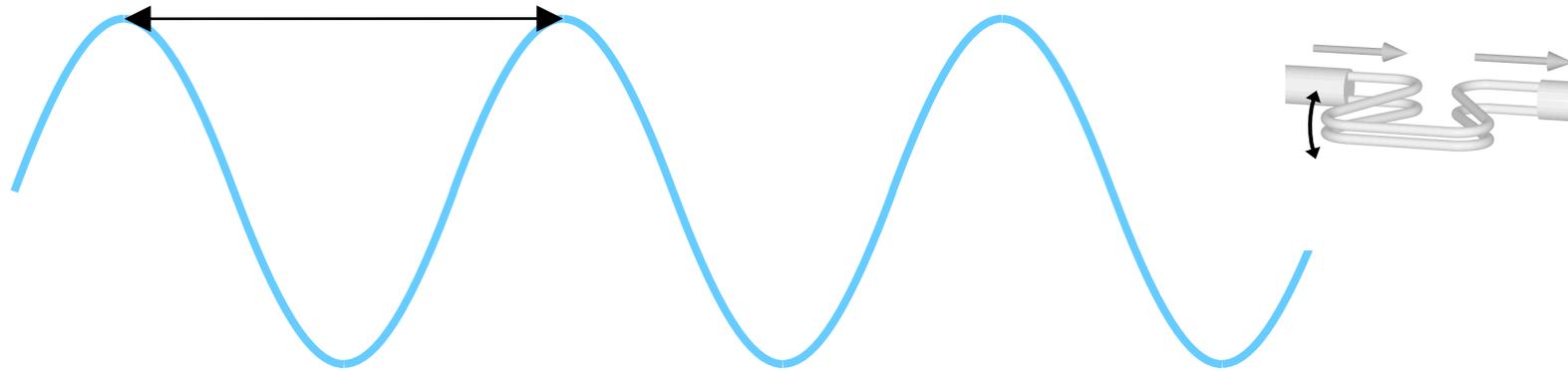
OBS. O movimento real é muito menos pronunciado e a frequência real é muito maior.

O Efeito Coriolis

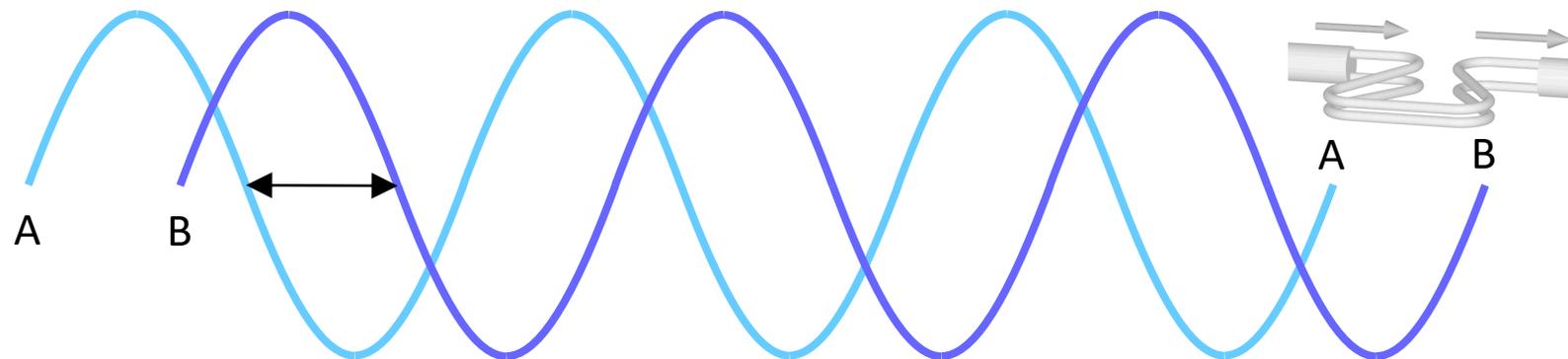
Medidores Coriolis

Assim:

FREQUÊNCIA DE OSCILAÇÃO → DENSIDADE DO FLUÍDO



DEFASAGEM → VAZÃO MÁSSICA



O Efeito Coriolis

Medidores Coriolis

Medidores Coriolis medem simultaneamente vazões mássica e volumétrica. Associados a um sensor de temperatura podem também medir a energia transferida pelo fluido ao processo (i.e. sensores nas entradas e saídas de um equipamento podem fazer o balanço de massa e energia do processo).

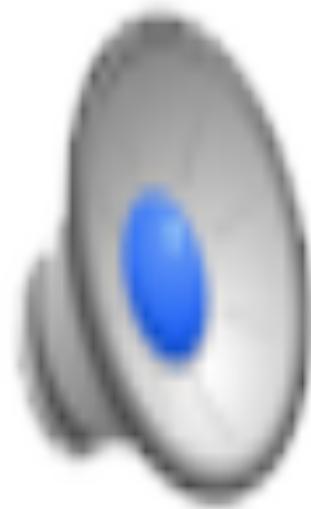
De modo geral são sensores de alto custo e construção relativamente sofisticada, que exigem regularização do fluxo a montante e que perturbam o fluxo a jusante. Além disso não se prestam a tubulações e vazões muito grandes, por razões construtivas.

Para escalas maiores do que os sensores disponíveis, a tubulação pode ser dividida e os fluxos de cada ramo medidos por sensores diferentes.

A norma ISO 10790/2015 apresenta diretrizes para seleção, instalação e uso de sensores Coriolis.

O Efeito Coriolis

Medidores Coriolis (Vídeo 1/2)



Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=PvXgaDoZr1E>

O Efeito Coriolis

Medidores Coriolis (Vídeo 2/2)



Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=XIIViaNITlw>

Medidores Eletromagnéticos

Medidores eletromagnéticos são dispositivos de medição de vazão que aplicam um campo magnético ortogonal ao escoamento num trecho de tubulação e detectam a força eletromotriz produzida no fluido pelo campo magnético.

Essa força eletromotriz é uma função da velocidade média do fluido, da qual é possível obter a vazão volumétrica na tubulação.

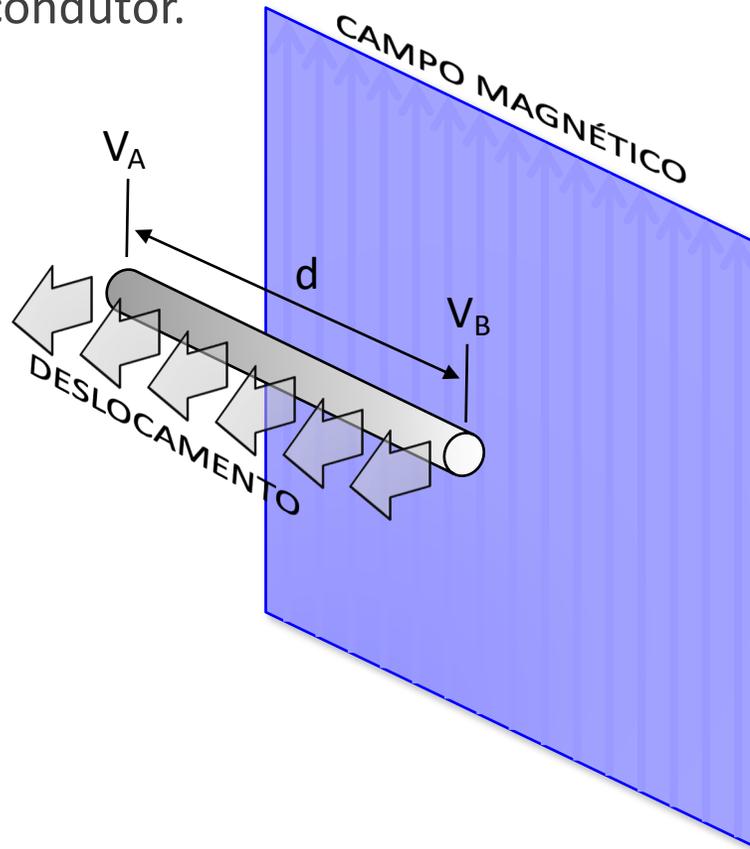
Medidores eletromagnéticos somente somente são efetivos para fluidos que tenham um mínimo de condutividade elétrica.

Por outro lado não requerem regularização do fluxo a montante, causam perturbações mínimas no fluxo a jusante, não têm partes móveis ou penetrações significativas e se prestam à medição de fluidos com diversos tipos de impurezas.

Medidores Eletromagnéticos

A Lei de Faraday

A Lei de Faraday (1831) afirma que a tensão (ou força eletromotriz) induzida em um condutor que se desloque ortogonalmente a um campo magnético é proporcional à velocidade de deslocamento do condutor.



Força Eletromotriz:

$$E = V_A - V_B$$

Lei de Faraday:

$$E = B \cdot d \cdot v$$

E [V] : força eletromotriz

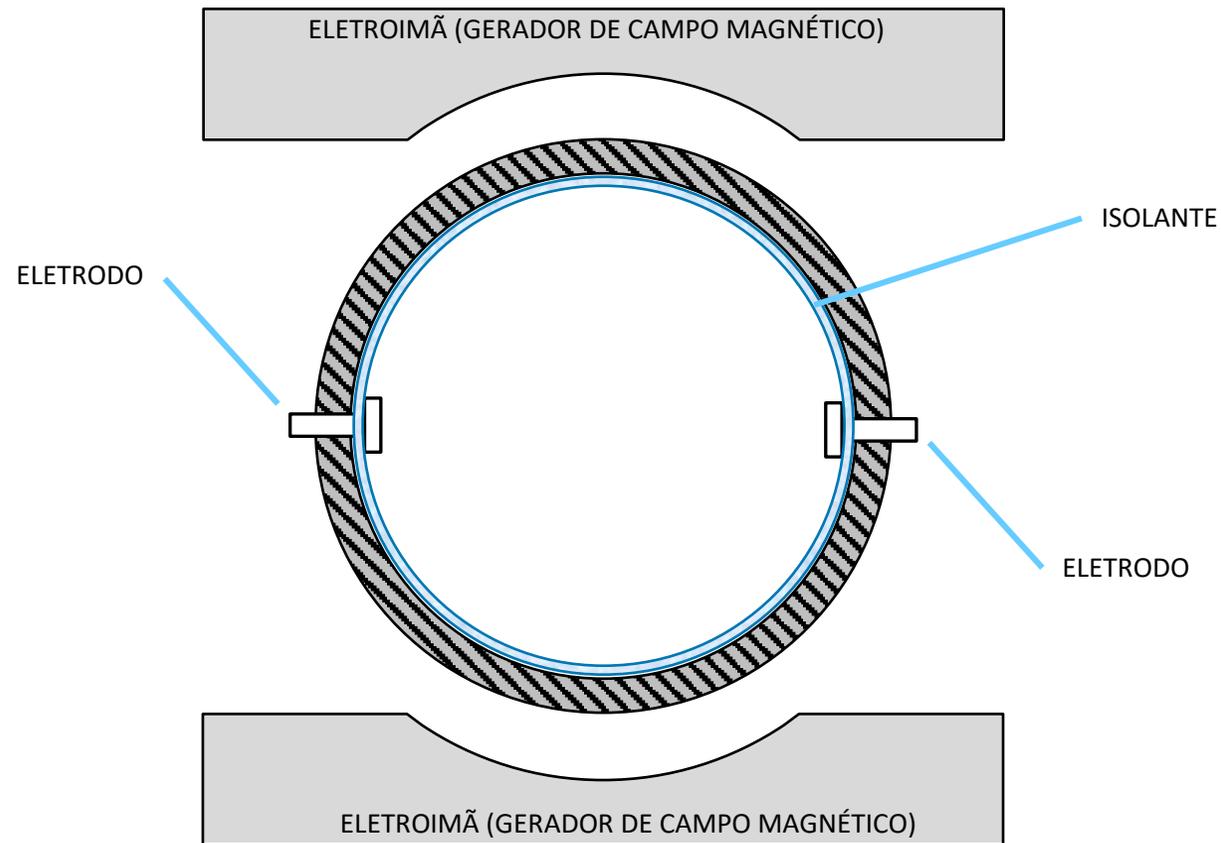
B [T] : dens. fluxo magnético

d [m] : distância entre A e B

v [m/s] : vel. do condutor

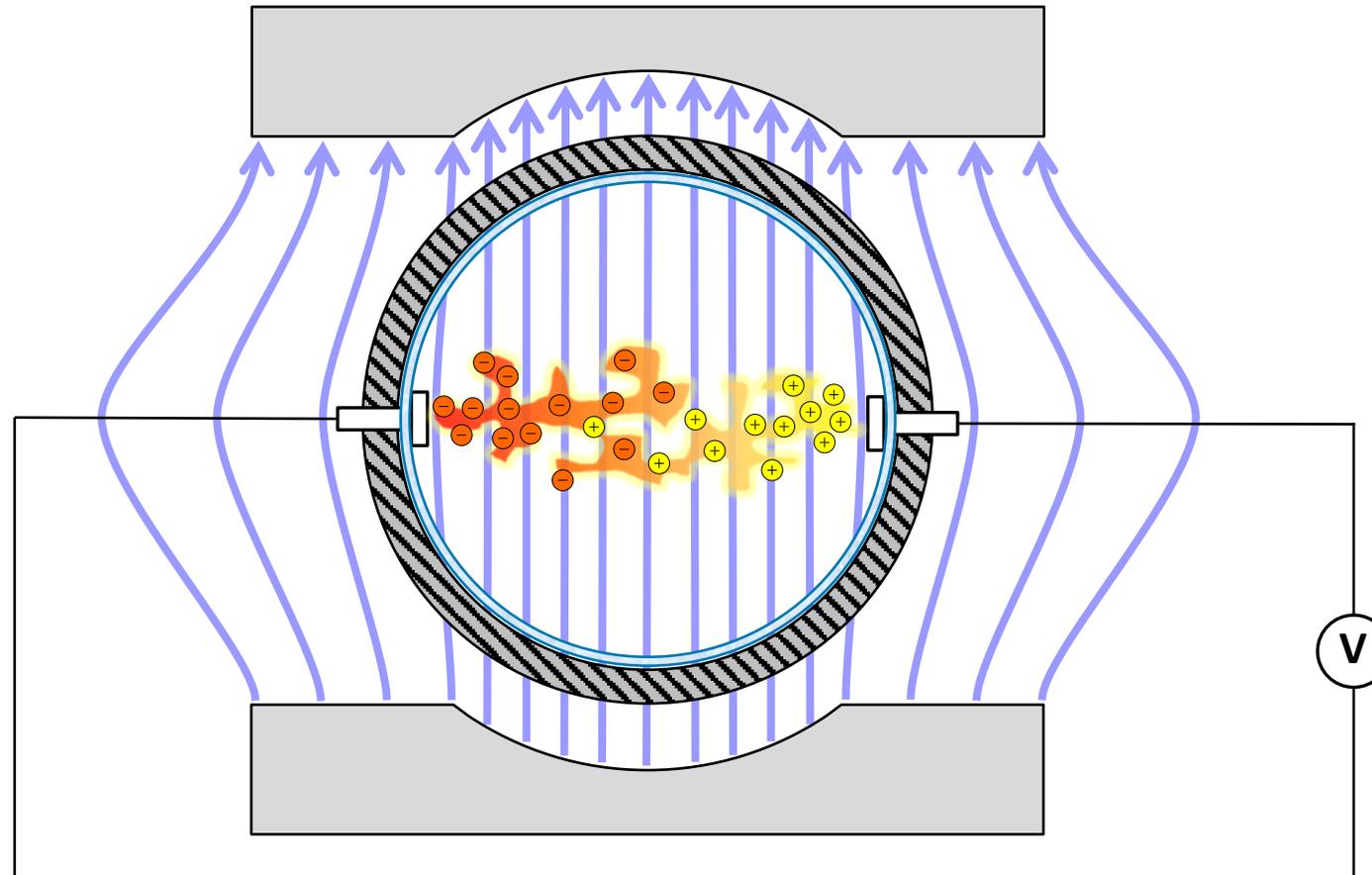
Medidores Eletromagnéticos

O medidor consiste em um gerador de campo eletromagnético e dois eletrodos transversais opostos.



Medidores Eletromagnéticos

Ao se ativar o campo magnético, há o aparecimento de uma tensão elétrica (ou força eletromotriz) entre os eletrodos.



Medidores Eletromagnéticos

Como

$$Q = v \cdot \pi \cdot d^2/4,$$

então

$$Q = \pi \cdot d \cdot E/(4 \cdot B).$$

Ou seja, a vazão volumétrica é diretamente proporcional à fem observada.

Medidores Eletromagnéticos

Observações

É necessário utilizar um revestimento isolante no trecho da tubulação onde é aplicado o campo eletromagnético para que o circuito elétrico entre os eletrodos não se feche pela superfície da tubulação.

O material da tubulação deve ser tal que não afete o campo eletromagnético aplicado.

Fluídos com propriedades ferromagnéticas (e.g. com partículas ferromagnéticas em suspensão) podem afetar a medição.

Campos magnéticos nas imediações do instrumento também podem afetar a medição.

As tensões medidas são da ordem de mili ou microvolts, portanto é necessária amplificação elevada para se obter um sinal utilizável.

Velocidades baixas dificultam a leitura. Caso seja necessária a utilização nessas condições é recomendável criar um estreitamento na tubulação.

Medidores Eletromagnéticos

Observações

A utilização deste tipo de medidor somente é viável para fluídos que tenham um mínimo de condutividade elétrica.

Isso exclui a maioria dos compostos orgânicos, petróleo e derivados, água destilada, etc.

Por outro lado impurezas (como em resíduos líquidos, esgoto, etc.) frequentemente contribuem para aumentar a condutividade elétrica.

Substância	Condutividade (S/m)
Ar	$3 \times 10^{-15} - 8 \times 10^{-15}$
Óleo Mineral (típico)	$< 1 \times 10^{-11}$
Água deionizada	$5,5 \times 10^{-6}$
Etanol	$3,3 \times 10^{-4}$
Água potável	0,005 – 0,050
Suco de fruta (típico)	0,002 – 0,010
Esgoto doméstico não tratado (típico)	0,02 – 0,04
Água do mar	5
Ácido sulfúrico (0,5%)	24,3

Medidores Eletromagnéticos

Excitação

CAMPO MAGNÉTICO CONSTANTE (CC)

Não é normalmente utilizado, pois favorece a eletrólise dos fluídos e a deposição de sais nos eletrodos. Alguns fluídos têm potencial eletroquímico próprio, o que afeta a medida (e.g. solução chumbo/ácido, como em uma bateria).

CAMPO SENOIDAL (CA)

Evita eletrólise, deposição de sais e a medida não é afetada pelo potencial eletroquímico. A variação do campo eletromagnético favorece o aparecimento de correntes de Foucault no fluído, que interferem na medida. Caso seja utilizada frequência de 60Hz, ruídos da rede elétrica podem interferir na medida.

CAMPO PULSADO (onda quadrada)

Tem as vantagens do campo senoidal e evita o aparecimento de correntes de Foucault (o campo só varia durante os chaveamentos). Uma escolha adequada de frequência minimiza o ruído da rede elétrica.

Medidores Eletromagnéticos



Medidores Eletromagnéticos



Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=f949gpKdCI4>

Medidores Eletromagnéticos

Resumo

VANTAGENS

Mínimas obstrução ao escoamento e perda de carga;

Requer pouca regularização do fluxo e causa pouca turbulência;

Medição bidirecional;

Sem partes móveis e pouca exposição ao fluído;

Adequado para fluídos corrosivos, tóxicos ou com impurezas.

DESVANTAGEM

Somente para fluídos com condutividade elétrica significativa.