

MEDIDOR MAGNETICO DE VAZÃO

O medidor magnético de vazão, hoje muito conhecido, desenvolvido e utilizado, tem como princípio, a indução eletromagnética, descoberta em 1831 por Michael Faraday. O medidor, originário a partir da lei de Faraday, criado e montado em 1941, pode ser considerado na atualidade como o melhor e mais exato medidor de vazão para fluidos que possuam condutividade elétrica entre todos os outros medidores de tecnologia diferente, utilizados para o mesmo fim.

DESTAQUE DE ALGUMAS DE SUAS CARACTERISTICAS:

a)- Rangeabilidade; é a maior entre todos os medidores de vazão existentes no mercado. Em 1970, sua rangeabilidade, considerada como 10:1, tem hoje como certa e reconhecida por todos os fabricantes, a faixa, como referencia, 100:1. Há fabricantes que recalibram e linearizam a faixa inferior de menor velocidade, descendo-a para um limite de +/-0,03m/s. Dai a rangeabilidade subir para 300:1. A figura 01 mostra-nos a estabilidade da exatidão do medidor de rangeabilidade 100:1 com possibilidade de linearização ou recalibração para uma possível faixa inferior ainda menor.

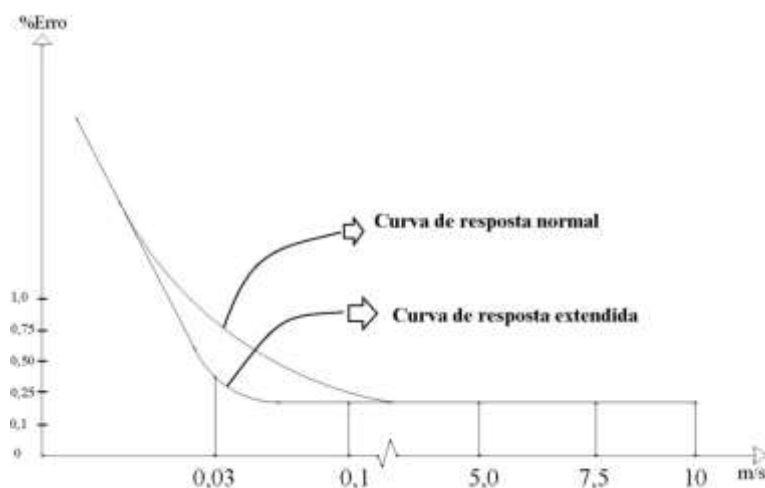


Figura 1 – Gráfico de uma calibração

A faixa superior de vazão ou velocidade não tem teoricamente limitação elétrica. O motivo de ser considerada pelos fabricantes como sendo 10m/s a velocidade máxima, como usual, se prende ao fato da longevidade da parte física interna do tubo medidor. Maior velocidade, maior erosão ou atrito, conseqüentemente maior desgaste do material isolante do tubo.

O aumento da rangeabilidade posterior ao ano de 1970 aconteceu especificamente em decorrência do desenvolvimento dos componentes eletrônicos. Na atualidade os componentes ou circuitos integrados em um único “chip”, aplicados no Transmissor Receptor dos milivolts gerados pelo Tubo, (elemento primário de medição), tem como característica uma impedância de entrada que chegam a valores próximos a uma resistência ou impedância infinita, o que garante a não circulação de corrente entre o tubo gerador e o transmissor receptor, possibilitando dessa forma, que a f.e.m. gerada seja exatamente proporcional a velocidade do fluido.

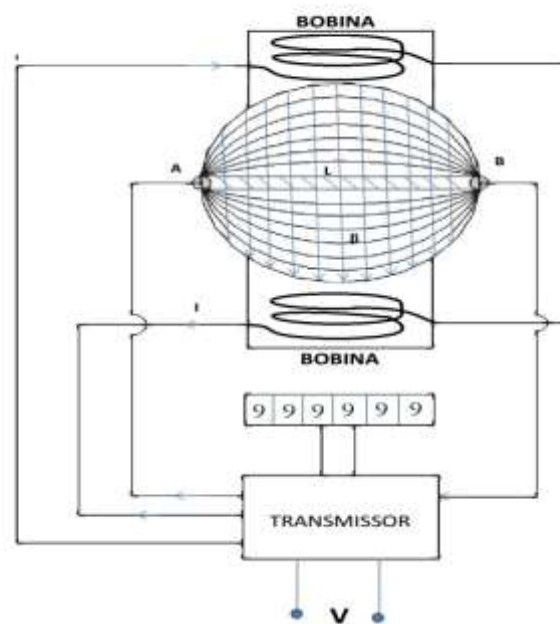


Fig. 2 Princípio ilustrativo do eletromagnético

A fig. 02 dá-nos uma ideia do circuito de medição (elemento primário) e o receptor ou transmissor propriamente (elemento secundário). Nessa figura, temos o circuito fechado pela ligação “L” entre os eletrodos, A e B através do fluido condutor o qual pode ser considerado como uma espira que se movimenta dentro de um campo magnético. Essa ligação em linha reta entre os eletrodos é a de menor resistência elétrica, maior velocidade, embora várias outras ligações paralelas aconteçam internamente dentro da área interna do tubo com resistências cada vez maiores e velocidades cada vez menores a partir do centro para a periferia interna do tubo. Simplificando, podemos

considerar para o caso particular da água comum tratada, uma condutividade de +/-70 microSiemes/cm o que equivale a uma resistência elétrica de 14,286 kOhms/cm. Portanto, um tubo de 100 mm de diâmetro, terá como resistência elétrica interna entre os eletrodos A e B o valor de 143 kOhms, gerando tensão equivalente ou proporcional a velocidade do fluido escoante. A tensão gerada é proporcional a indução magnética “ β ”, ao diâmetro do tubo, representado pelo comprimento “L” e a velocidade “V” do fluido.

$$E = k. \beta.L.V$$

E = Tensão induzida no condutor

K = Constante que depende de fatores físicos e outros ajustes

B = Densidade do fluxo magnético

L = Dimensão do condutor (diâmetro do tubo)

V = Velocidade do condutor elétrico (fluido)

Do lado do Transmissor, sendo sua resistência interna relativamente baixa, circulará corrente entre o tubo gerador e o transmissor receptor. Por outro lado, sendo sua resistência muito alta, a circulação de corrente cairá para próxima de zero, não afetando a proporcionalidade entre a velocidade e a tensão induzida. A tensão gerada pelos eletrodos pode variar entre fabricantes, via de regra, o valor normal é da ordem de 0,750 microvolts por metro por segundo. (0,750 $\mu\text{Vm/s}$), resultando em 7,5 mV para um velocidade máxima de 10 m/s. A densidade do campo magnético “ β ” depende do fluxo magnético “ ϕ ” gerado pelas bobinas que por sua vez, depende da corrente de excitação e do número de espiras das mesmas. A corrente de excitação, que é eletronicamente estabilizada, tem sua aplicação nas bobinas de forma pulsada com valores de frequência que podem variar dentre os fabricantes. Todavia, seu valor, normalmente é 50 ou 60 Hz ou ainda podendo ser um submúltiplo desses valores. Por se tratar de uma excitação pulsada, a duração do pulso também é uma definição particular ou estratégica do Fabricante que tem como meta atender a melhor performance do medidor, assim como, garantir um menor consumo de energia ou potencia retirada das baterias de lítio quando essas forem usadas como alimentação do Transmissor e Bobina. A potencia, nesse caso particular, consumida pelo sistema em operação gira em torno de alguns mWatt pulsado. A corrente de excitação referida é estabilizada, sendo seu valor constante nos períodos de aplicação. Por outro lado, o número de espiras das bobinas de excitação varia em número de voltas ou espiras proporcional ao diâmetro do tubo. Cada fabricante tem sua tabela ou seu

padrão do número de espiras versus diâmetro do tubo. O que se pode afirmar é que a densidade do fluxo magnético “ β ” tende a diminuir com o aumento do diâmetro do tubo, sendo tal diminuição, proporcionalmente compensado em termos da tensão gerada, entre os eletrodos A e B, pelo aumento “L” entre eles. Pequenas desproporcionalidade na equação de geração é ajustada pelo fabricante no ato da calibração do medidor pelo fator “K”. Por esta razão que o fator “K” que vem estampado na placa de nascimento do medidor nunca deve ser alterado pelo usuário.

Do ano de 1970 até hoje, a rangeabilidade do medidor aumentou, chegando a ser dita por um dos fabricantes, que sua faixa em casos especiais pode atingir até 1000:1, todavia sem informar como conseguiu tal proeza. A exatidão, também melhorou muito, saindo de 1% até aos 5% nos anos 70, para 0,15 a 0,5 % na atualidade. Toda essa melhoria se deve ou esta em conformidade com o avanço da tecnologia dos componentes eletrônicos. No passado, não só a rangeabilidade, assim como a condutividade do fluido causavam erro na medição quando de suas respectivas variações ao curso de uma medição. Daremos alguns exemplos pertinentes simulados. Da figura 02, assumindo que o fluido água tenha uma condutividade de $10\mu\text{SIEMENS}$, velocidade de 1m/s , transmissor com impedância de entrada de 100megaOhm , resultará, por analogia a fig. 03.

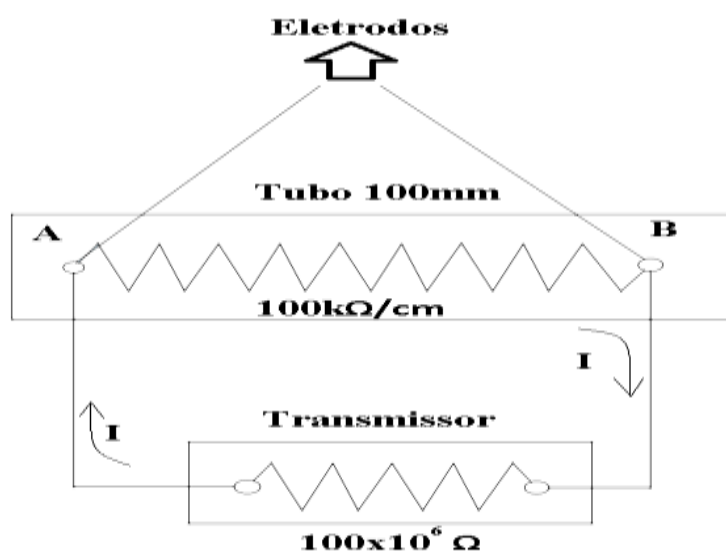


Fig. 03- Impedâncias interna loop Tubo/Transmissor

Velocidade = $1\text{m/s} = 0,75\text{mV}$

Tubo de 100 mm de diâmetro

Condutividade = $10\mu\text{SIEMENS/cm}$

Impedância do transmissor = 100megaOhm .

Impedância do tubo = $100\text{kOhm} \cdot 10\text{cm} = 1\text{ megaOhm}$

Como se pode observar, as duas impedâncias, a do tubo gerador e a do transmissor estão em paralelo, porem, a impedância do transmissor praticamente é a que define a circulação da corrente gerada. Dessa forma, a queda de tensão entre os eletrodos será de;

$$I = \frac{0,75 \times 10^{-3} V}{10^8 \Omega} = 0,75 \times 10^{-11} A$$

ΔV nos eletrodos = $0,75 \times 10^{-11} A \times 10^8 \Omega = 75 \times 10^{-7} V = 7,5 \mu V$ de queda na tensão gerada pela circulação de corrente na impedância do tubo gerador, o que representará um erro na medição de $0,75\text{mV} - 0,0075\text{mV}$, ou seja, a tensão agora gerada será de $0,7425\text{mV}$ e não mais $0,75\text{mV}$ na velocidade de 1m/s . O erro nesse caso é de 1% na medição. Aumentando o diâmetro do tubo para 500 mm , o erro para as mesmas condições seria de 5% . Logo, podemos perceber que a exatidão de um medidor magnético, quando a impedância do transmissor receptor for relativamente baixa, como nesse caso, a exatidão não só dependerá do diâmetro do tubo como também da variação da condutividade do fluido escoante.

Calculando de outra forma;

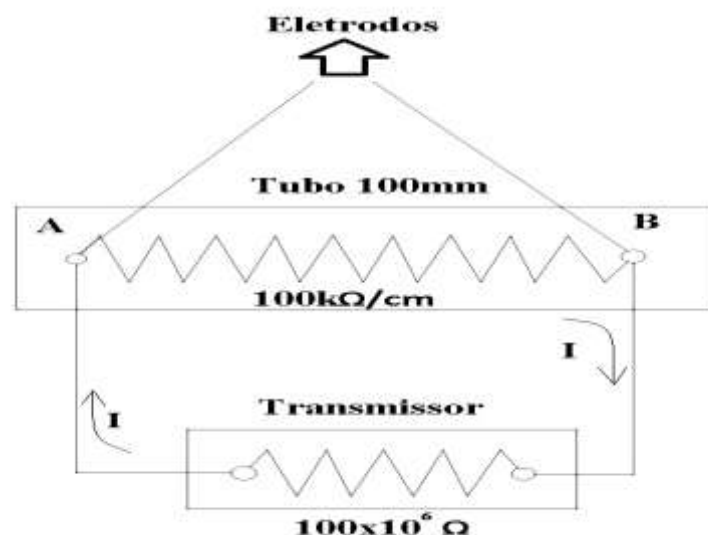


Fig. 04-Impedância interna do loop Tubo/Transmissor

$$\text{Erro} = \frac{100 \times 10^4}{100 \times 10^4 + 100 \times 10^6} \times 100\% = 1\% .$$

Aumentando o diâmetro do tubo para 500 mm o erro subiria para 5%.

Aumentando a condutividade do fluido para 100µSIEMENS, o erro cairá para 0,1%. Aumentando o diâmetro do tubo para 500 mm para a mesma condição, o erro subiria para 0,5%. Dessa forma, podemos notar que a condutividade é também muito importante.

Na atualidade, a impedância dos transmissores esta na casa dos GigaOhms, o que não faz mais sentido pensar na variação ou queda de tensão internamente no tubo decorrente da variação da condutividade e, de seu diâmetro, pois a corrente é tão pequena que não causará queda que seja expressiva ou representativa em termos de erro na medição. Dessa forma podemos dizer que a medição não depende da condutividade, do diâmetro, assim como a rangeabilidade também aumentou consideradamente.

b)- Velocidade, extração do valor médio:

O escoamento numa tubulação com condução forçada tem como característica três situações de perfil de velocidades;

- 1)- Velocidades muito baixa, perfil laminar,
- 2)- Velocidade intermediaria ou de transição,
- 3)- Velocidade alta, perfil turbulento.

Perfil laminar – É aquele completamente uniforme, apresentando uma espécie de paralelismo entre suas camadas moleculares, tendo como principal característica uma camada limite crescente a partir da superfície interna que vai aumentando ate atingir o eixo central e, a partir dali, essa camada limite decresce ate se tornar zero no contato físico com a parede oposta. Esse tipo de perfil constitui-se numa perfeita parábola, valida para qualquer diâmetro de tubo. Estruturalmente, o perfil laminar começa com velocidade ou número de Reynolds igual a zero, no do contato com o tubo, crescendo ate número de Reynolds próximo de 3000 exatamente no centro, decrescendo ate zero no limite do lado oposto. Na região de transição, entre o laminar e o turbulento o número de Reynolds estaria entre 3000 e 4000 em teoria. Acima de 4000 o

regime estaria bem desenvolvido, constituindo o que chamamos de perfil turbulento. No **perfil turbulento**, a camada limite cresce e se estabiliza, apresentando uma espécie de achatamento, onde a velocidades teoricamente fica constantes e com pequenas oscilações daí, desestabilizando e decrescendo até atingir velocidade zero no limite da parede do lado oposto. Esse tipo de desenvolvimento de perfil ou curva não é mais uma parábola se não uma nova curva cuja equação representativa é singular para cada diâmetro de tubo, chegando próximo de $Y = K$ (constante), para tubos de grandes diâmetros.

A figura 05 apresenta a curva do perfil parabólico para velocidade laminar e a fig. 06 a curva de um perfil turbulento.

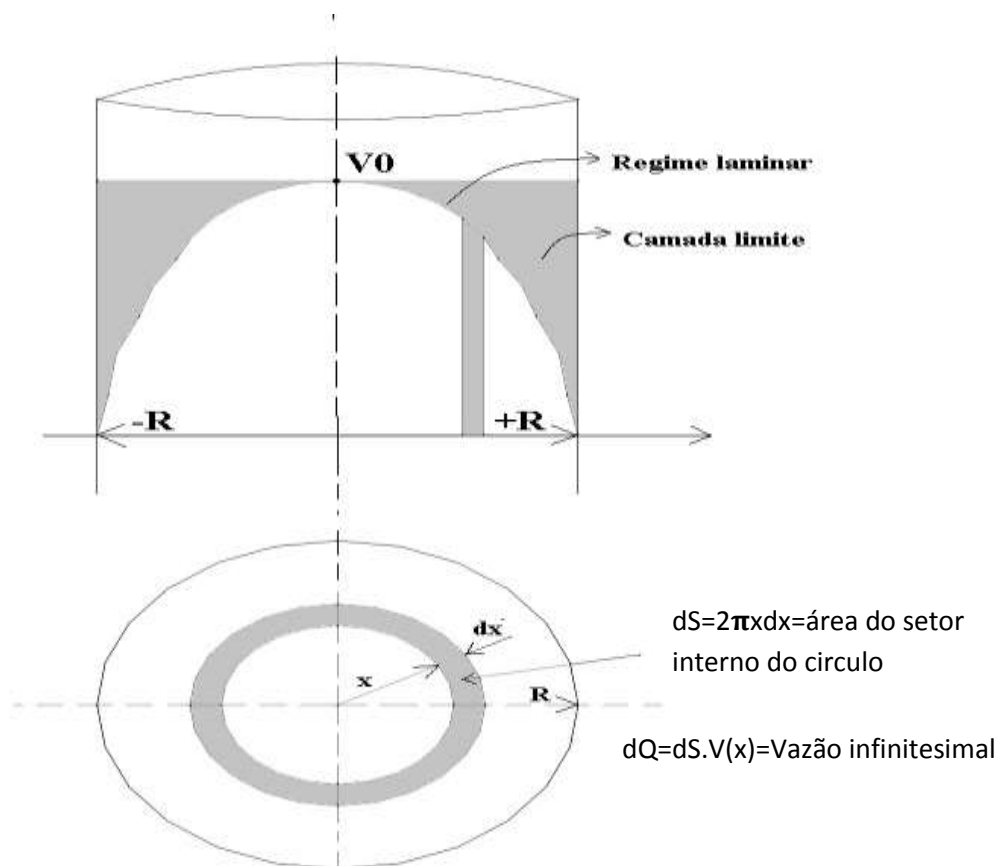


Fig. 05-Perfil característico parabólico regime laminar

O valor médio de um perfil laminar é sempre igual a 0,5 ou 1/2 da velocidade central " V_0 " conforme representado na figura 05.

A velocidade média verdadeira, " V_m " é aquela onde dividimos a vazão escoante " Q " pela respectiva área do tubo. $V_m = \frac{Q}{\pi R^2}$

$dQ = dS \cdot V(x)$ = vazão infinitesimal de um setor interno do perfil.

$$Q = \int_0^R dQ = 2\pi \int_0^R x dx V(x) = 2\pi \int_0^R \left(\frac{-V_0 x^3}{R^2} + V_0 x \right) dx = 2\pi \left(\frac{-V_0 R^4}{4R^2} + \frac{V_0 R^2}{2} \right)$$

$$Q = 2\pi \left(\frac{-V_0 R^4}{4R^2} + \frac{2V_0 R^4}{4R^2} \right) = 2\pi \left(\frac{V_0 R^2}{4} \right) = \pi \left(\frac{V_0 R^2}{2} \right) = \text{vazão } Q$$

$$V_m = \frac{\pi \left(\frac{V_0 R^2}{2} \right)}{\pi R^2} = \frac{V_0}{2} = \text{conclusão, a } V_m \text{ é igual a central dividida por 2.}$$

Como podemos observar o valor médio de uma velocidade laminar para qualquer valor de “x” ou diâmetro de tubulação é $V_m = \frac{1}{2}$ da velocidade Central, “ V_0 ”.

A fig.06 representa o perfil turbulento totalmente desenvolvido. O que podemos afirmar para esse perfil é; quanto maior o diâmetro da tubulação, cada vez mais a velocidade media aproxima do valor unitário. A fig. 06 é a representatividade do perfil de velocidade turbulenta bem desenvolvida.

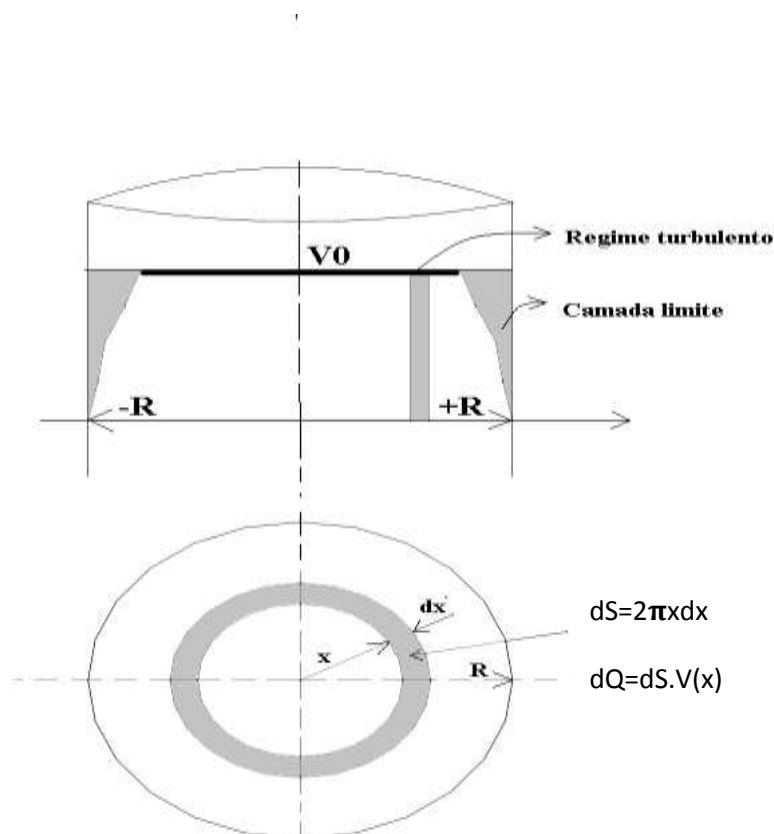


Fig. 06=Perfil característico de um regime de vazão turbulento

A partir do momento que “x” ultrapassar a camada limite, a velocidade tende a ficar constante, representada por “ V_0 ”. Tendo a tubulação um grande diâmetro, a camada limite será pouco representativa em relação ao trecho ou

espaçamento em que o “x” ou “Vo” ou ainda em relação à velocidade que se tornou constante. Equacionando, teremos;

$$dQ = dS.V(x) = 2\pi \int_0^R x dx V(x) = 2\pi \int_0^R k \frac{x^2}{2} = 2\pi k \frac{R^2}{2} = \pi k R^2 = Vazão$$

$$Q = k\pi R^2 \text{ então, } \frac{k\pi R^2}{\pi R^2} = V_m = K (\text{constante}) = V_o \text{ c.q.d.}$$

O valor de $V_m \cong V_o \cong K \cong 1$, somente se aproxima desse valor em epigráfe para tubulações de grandes diâmetros, relativamente nova e, com um bom trecho reto a montante da instalação do medidor. No caso particular de um grande trecho reto e tubulação relativamente nova é a condição válida somente para a Pitometria e em particular para o medidor Magnético de Inserção, pois ambos medem apenas a velocidade pontual. Referindo-se ao medidor Magnético de Inserção, como ele mede a velocidade pontual, dependemos do cálculo da velocidade média do perfil no ponto de sua instalação para que se tenha a correta medição da vazão. Sabe-se por teoria que a velocidade média dentro de um perfil bem desenvolvido e, nas condições ideais de uma instalação bem localizada, está a 1/8 ou a 7/8 do diâmetro da tubulação. Esse ditame nem sempre é verdadeiro, pois alguns fatores físicos podem concorrer para afastar ligeiramente o ponto referido de seu exato valor teórico. O ponto mais ideal para a inserção ou localização do magnético numa medição, é o centro da tubulação. Para tal, deve-se conhecer geometricamente o formato do perfil por meio de seu levantamento, calcular o valor médio e, em sequencia, determinar o fator de correção do perfil ou fator de correção de velocidade (FV) que, normalmente tem um valor menor que 1,00. Para as posições de inserção de 1/8 ou 7/8 o FV vale exatamente 1,00 ou, às vezes sujeito a pequenos reajustes.

Segundo Schlichting (1979) e White (1991), o perfil de velocidade estará plenamente desenvolvido, após singularidades em uma rede, numa distância, em diâmetros equivalente, determinado pelas fórmulas empíricas, $\frac{Ld}{D} \cong 0,06.Re$ para velocidades laminares, ou seja velocidades abaixo de $Re \leq 3000$ e $\frac{Ld}{D} \cong 4,4.Re^{1/6}$ para velocidades turbulentas, $Re \geq 4000$. O perfil após atingir a condição de plenamente desenvolvido, tem sua velocidade média inalterada e, seu respectivo fator de correção de velocidade “FV” inalterado ou constante para toda velocidade variável numa rede de distribuição. A título de exemplo, para um valor de número de Reynolds, $Re=2000$, a expressão, $\frac{Ld}{D} \cong 0,06.Re$ conduz a um comprimento, a partir da entrada de uma singularidade, igual a 120 diâmetros, enquanto que, para um Reynolds, $Re=100.000$, por exemplo, a

equação $\frac{Ld}{D} \cong 4,4.Re^{\frac{1}{6}}$, prevê um valor de 30 diâmetros a partir da singularidade. Tais valores são teóricos, via de regra, devem ser respeitados para que se tenha um “FV” constante sobre todos os aspectos da variância da velocidade na rede. Todavia, na prática das medições pontuais, aceitamos 20 diâmetros, como valor de referência. Fora dessa realidade, onde trechos retos menores, são encontrados, recomenda-se que a velocidade média e o respectivo “FV” sejam levantados no momento da medição para que se tenham valores bem mais exatos das medições com a Pitometria, assim como, na utilização do Medidor Magnético de Inserção.

Ld = Comprimento em diâmetro do Tubo

D = Diâmetro do Tubo (m)

Re = Número de Reynolds = $V.D/\nu$

FV = Fator de correção de velocidade.

Quanto ao medidor magnético a carretel ou flangeado, ele não depende muito dos trechos reto a montante nem do trecho reto a jusante, nem tão pouco das condições interna da tubulação já que o medidor, no seu interior, tem revestimento de teflon, neoprene, cerâmica, etc ou borracha com baixíssima rugosidade. O medidor magnético em si, não depende numa medição, da pressão, temperatura, densidade, viscosidade, nem tão pouco do cálculo da velocidade média a qual é, automaticamente extraída em seu interior, como veremos a seguir.

Dentro do medidor magnético de diâmetro “ D ” quando do fluxo escoando, temos por analogia tridimensional, o perfil de uma esfera ou uma bola de football seccionada ao meio com velocidade que variam de zero, nas suas bordas ate ao máximo exatamente no centro onde fica posicionado, simetricamente, na horizontal os eletrodos A e B. Entre eles, em linha reta, existe a ligação elétrica por meio do fluido condutor que se movimenta ou escoo com uma velocidade “ V_o ”. Também, por todos os lados, em 360º existe ligações de maior resistência e menores velocidades. Vamos considerar apenas a linha de ligação horizontal entre A e B que é a principal. Nessa linha que se movimenta no sentido do escoamento, encontramos velocidades que variam de zero, em cima do eletrodo A, até ao máximo no centro e, a partir do centro diminui ate ao valor zero em cima do eletrodo “B” que é exatamente uma das superfícies interna do tubo. Como a ligação elétrica entre os eletrodos A e B esta se movimentando ortogonalmente em relação ao plano vertical da densidade magnética “ β ”, pela lei de Faraday, essa ligação pode ser interpretada como uma espira de um transformador que se movimenta dentro

de campo magnético estável, originando nessa espira a f.e.m. induzida. Por outro lado, a espira elétrica que se movimenta não tem em toda sua extensão, a mesma velocidade, sendo zero na superfície dos eletrodos e máxima no centro do tubo. Por esse motivo, a ligação entre os eletrodos, é sede de uma f.e.m. induzida variável a partir de zero no eletrodo “A” atingindo um valor máximo no centro, diminuindo até zero no eletrodo “B”. As f.e.m. induzida tem polaridade comportando-se como micro bateria em série. Esse fenômeno acontece em todas as linhas de interligação nos 360° de conexão com os eletrodos, se somando vetorialmente ou eletricamente. A fig. 07 nos dá uma ideia das micros f.e.m. induzida na espira de centro que escoou ou flui, ligação entre eletrodo “A” e “B”. O resultado das interligações vista pelo transmissor é a soma de todas as micros tensões induzidas que no computo geral é representativo da média geral das velocidades internas.

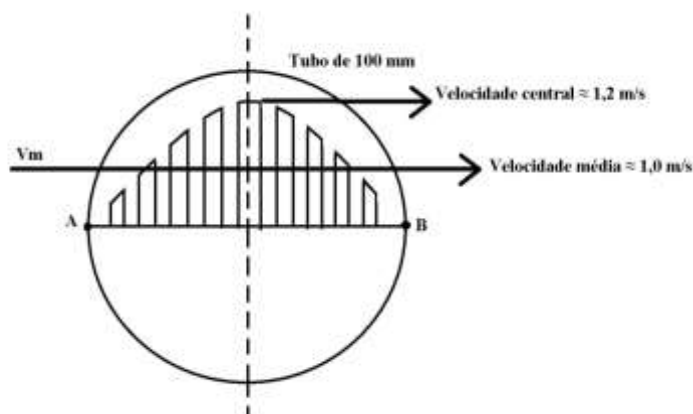


Fig.07-Tensão induzida média, equivalente às medias das veloc. internas

c)- Instalação

O medidor magnético pode ser instalado em qualquer posição física; horizontal, vertical, inclinado, etc. O que se deve observar na sua instalação e seu posicionamento numa condição onde ele jamais deverá operar com a possibilidade de uma particular condição onde o escoamento possa apresentar tubo parcialmente vazio ou ainda num escoamento onde a presença de bolsões de ar possa aparecer com frequência. Nessas condições, ele vai apresentar falhas na medição.

d)-Erro por singularidades próximas à sua instalação

As singularidades que são várias encontradas num processo, é um dos grandes fatores de erro numa medição de vazão quando o medidor comum estiver próximo tanto a montante quanto a jusante de sua locação. Tal fato se deve a deformação do perfil de velocidade que nesse caso varia com as variações da

velocidade após a singularidade, não permitindo ou oferecendo condições do escoamento se normalizar ou desenvolver plenamente seu perfil estável. Dos medidores em geral, o magnético é o mais tolerável a estar próximo de singularidade, pois, ele medirá com linearidade e exatidão quase que independente do perfil do escoamento. Como ele não é perfeito, os fabricantes em geral recomendam trechos retos mínimos para a instalação de seus medidores. Existe fabricante que recomenda como trecho reto mínimo a montante 5 diâmetros e 3 diâmetros a jusante. Há outros fabricantes que recomendam trechos retos ainda menores. Essa recomendação em particular ou nas condições recomendadas se garante que após uma curva acentuada o erro não passaria de 0,5% da medição. Por outro lado, para garantir um erro menor que 0,5% na medição, a inclinação do perfil frente ao plano horizontal dos eletrodos A e B não deve ultrapassar os 6º de inclinação. O ângulo evidentemente varia com a velocidade, assim sendo, não se pode garantir certeza nessa informação. Todavia, onde se tem condições de instalação com um bom trecho reto, porque instalar o medidor muito próximo a uma singularidade. Na fig. 08 temos o escoamento inclinado em um ângulo “ α ” em relação ao plano horizontal dos eletrodos “A” e “B”.

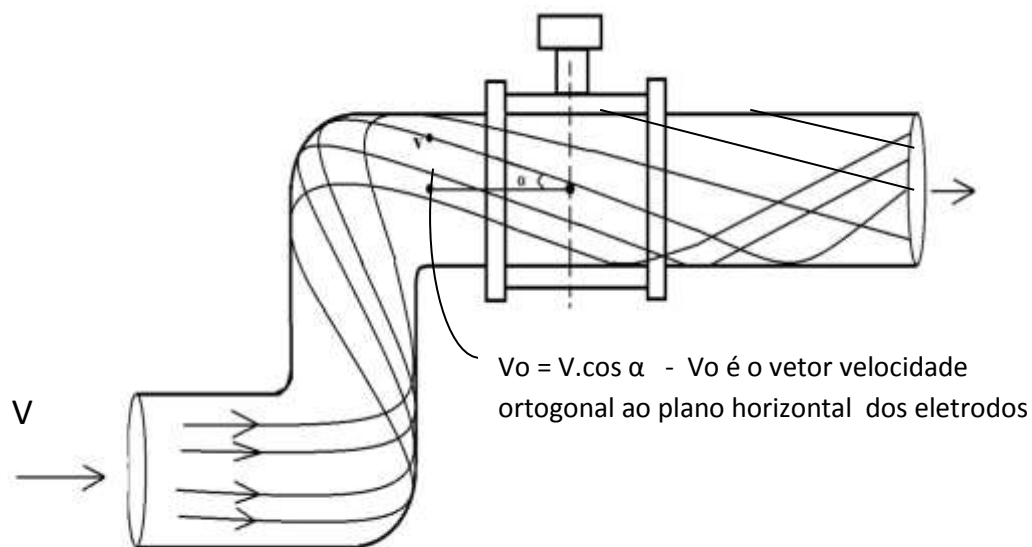


Fig.08- Inclinação do perfil, posterior a singularidade.

e)- Exemplos de singularidades;

- a)- Estrangulamento ou aumento do diâmetro da tubulação,
- b)- Proximidade de escoamento bombeado,

- c)- Proximidade de curvas ou joelhos,
- d)- Proximidade de derivações,
- e)- Proximidade de válvula de controle
- f)- E outras que ocorrer.

f)- Vantagens e méritos do medidor magnético

- 1)- As medições não são afetadas pela variações das propriedades físico-química do fluido a ser medido,
- 2)- O tubo medidor é totalmente sem obstrução e não possui peças móveis , portanto livre de manutenção e sua perda de carga é praticamente zero,
- 3)- O consumo de energia é muito baixo atualmente, principalmente quando a excitação das bobinas for por tensão contínua pulsada,
- 4)- É ideal para medir fluidos mal comportado como, ácidos, bases ou outros tipos de fluidos altamente contaminados e com sólidos em suspensão,
- 5)- Pode medir vazão muito pequena e muito elevada sem comprometimento de sua exatidão,
- 6)- Comercialmente tem disponibilidade de diâmetros entre 3mm a 3 metros,
- 7)- A rangeabilidade hoje garantida é de 100:1 embora possa ser estendida,
- 8)- É altamente independente do perfil de velocidade,
- 9)- O medidor por medir indistintamente vazões nas duas direções.
- 10)- Os eletrodos podem ser limpos no local com o tubo em operação,
- 11)- Sua linearidade é perfeita,
- 12)- É facilmente ajustado via programação para qualquer unidade e tempo. Com os softwares disponíveis atualmente, não se tem mais limites de programação,
- 13)- Fácil comissionamento no start-up,
- 14)- A velocidade que mede e indica já é a velocidade média.

F)- Conclusão

Nas Empresas de saneamento, a totalidade das aplicações em medições é em soluções aquosas, como por exemplo, água tratada, água bruta, esgoto normal e tratado, soluções químicas etc. Portanto, sem qualquer restrição ao uso dos medidores magnéticos. Desta forma, ele é e será o mais indicado medidor de vazão para tais finalidades dentro da Empresa de água. Por outro lado, o desenvolvimento dos medidores magnéticos vem sendo periodicamente implementados e avançados tecnologicamente. A introdução de novas tecnologias relacionadas com o estudo e pesquisa em laboratório de vazão dos fabricantes têm avançado muito e, a cada dia lançam no mercado medidor mais confiável, mais estável no zero, com maior facilidade de calibração, mais insensíveis às variações da composição química do fluido e o que é muito importante hoje na competição, o preço que esta em constante redução, fazendo com que o medidor magnético seja a cada dia mais utilizado e confiável. Nesse caminho ou filosofia de mercado estão os mais tradicionais fabricantes, como por exemplo, a Isoil, Endress + Hauser, Yew e outros que buscam conquistar o mercado sob todos os aspectos da concorrência, principalmente demonstrando estar pesquisando e inovando dentro das tecnologias emergentes dos revestimentos, da excitação, dos microprocessadores e até mesmo, medidores mais atuais sem eletrodos, o que é ou será uma grande conquista sem dúvidas.

Artigo desenvolvido por eng. G. Lamon

Janeiro de 2014

Obs.: Mais informações sobre esse assunto recomendamos ler o capítulo II do livro Pitometria e Macromedição nas Empresas de Saneamento, do próprio autor – G. Lamon