

GUSTAVO DE ARAÚJO LAMON

O Verdadeiro Medidor Magnético de Vazão
tipo Inserção

Belo Horizonte

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

PARA AQUELAS PESSOAS QUE DESEJAM CONTRIBUIR COM SEUS PONTOS DE VISTA A RESPEITO DESTE ARTIGO, SINTAM-SE A VONTADE DE ENCAMINHAR UM EMAIL PARA gustavo@lamon.com.br . SERÁ UM PRAZER RECEBER SUAS OBSERVAÇÕES.

Resumo

Lamon, G. A. O Verdadeiro Medidor Magnético tipo Inserção, 2010, 18 páginas – Lamon Produtos Ltda

O objetivo deste artigo é destacar a capacidade de aplicação do medidor de vazão magnético tipo Inserção dentro de suas possibilidades, apresentando suas características, vantagens, cuidados durante a instalação e montagem, demonstrando sua versatilidade e robustez.

Palavra Chave: Medidor, Magnético, Eletromagnético, Inserção, Vazão.

Abstract

LAMON, G. A. The Real Insertion Magnetic Flowmeter, 2010, 18 pages – Lamon Produtos Ltda

The purpose of this article is to present the possibility to apply an insertion electromagnetic flowmeter, presenting its characteristics, advantages, attention during installation, demonstrating its versatility and toughness.

Keywords: Meter, Magnetic, Eletromagnetic, Insertion, Flow.

I - História da Medição de Vazão

A vazão é considerada a variável de processo mais importante nas empresas de saneamento e uma das mais importantes em processos industriais.

De acordo com a História, as primeiras medições de vazão de água foram realizadas pelos egípcios e romanos, cujas obras de adução de água ficaram famosas, tanto é que um texto do governador e engenheiro romano Julius Fontinus (40 – 103 d.C) traz referências claras sobre o assunto.

Por se tratar de uma variável importantíssima, a vazão acaba sendo uma das mais medidas em processos industriais mas, infelizmente, no Brasil, mesmo sabendo de sua importância, poucas empresas de saneamento dispõe de sistemas de medição de vazão e quando dispõe destes sistemas, nem sempre são confiáveis.

Devido ao status alcançado por essa variável de processo, nos dias de hoje a vazão é a variável que dispõe de recursos tecnológicos mais diversos para sua medição, além de requerer também um grande esforço para sua medida em determinadas aplicações. Pois, para medir a vazão corretamente foi sempre necessário muito conhecimento técnico, além do desenvolvimento das técnicas de medição já existentes em situações distintas de medição.

Com relação à seleção de um determinado tipo de medidor de vazão para uma aplicação em especial, desde que a necessidade do usuário seja a medição da vazão volumétrica de líquidos, o medidor de vazão magnético do tipo carretel ou inserção, baseado na lei de Faraday, pode atender satisfatoriamente a uma grande porcentagem de aplicações.

II - O Princípio de Medição de Vazão Eletromagnético

Para explicarmos o princípio de funcionamento dos medidores de vazão eletromagnético, consideraremos neste momento os medidores do tipo carretel. Estes medidores utilizam um princípio de medição antigo, a Lei de Faraday, e muitos fabricantes de instrumentos continuam a desenvolver medidores de vazão baseados nesse princípio. O medidor de vazão eletromagnético carretel atende a um gigantesco número de aplicações como, por exemplo: medição de vazão de água, xaropes de glicose com alta concentração, leite, cerveja e derivados, polpa de celulose, polpa de minério, ácidos em geral, efluentes industriais, esgoto, lamas, pastas, etc.

Para que o mesmo possa ser indicado em uma aplicação basta que o líquido possua uma condutividade elétrica mínima, normalmente de 5uS/cm. Dependendo de sua pressão, temperatura e velocidade de escoamento na tubulação do processo, com certeza a vazão desse líquido poderá ser medida corretamente, conforme a necessidade do usuário.

A Lei de Faraday, demonstrada pela primeira vez em 1832 pelo cientista Michael Faraday, foi percussora do desenvolvimento de vários equipamentos que se baseiam em sua Lei e o medidor de vazão eletromagnético é um desses equipamentos.

O primeiro medidor de vazão eletromagnético carretel foi desenvolvido em 1932 por um cientista suíço. No entanto, esta tecnologia tornou-se consolidada no final dos anos 70.

Apesar deste medidor ser baseado num princípio antigo, ele continua sendo aperfeiçoado e customizado para determinadas aplicações por alguns fabricantes. A Lei de Faraday utilizada para medidores de vazão determina que o movimento do líquido através do campo magnético induz uma força eletromotriz que atravessa o líquido num sentido perpendicular ao campo magnético, sendo essa f.e.m. diretamente proporcional à sua velocidade de escoamento do líquido. É importante salientarmos que o líquido deverá possuir uma condutividade elétrica mínima admitida, normalmente de 5uS/cm.

Devido ao campo magnético empregado na indução, o material do tubo medidor deve ser de material não magnético, para não conduzir e nem modificar a direção do campo magnético gerado. Por meio de dois eletrodos inseridos em um plano perpendicular ao campo magnético, torna-se possível a medição da força eletromotriz induzida por meio de um milivoltímetro.

De qualquer forma, é preciso uma observação cuidadosa durante a engenharia de aplicação do medidor magnético, quanto aos limites de operação relativos à temperatura, pressão e velocidade de escoamento, além da condutividade elétrica mínima exigida do líquido a ser medido. No medidor de vazão magnético, o seu campo magnético poderá ser gerado por um ímã permanente ou por bobinas excitadas por corrente alternada ou contínua.

Essa força eletromotriz induzida (dada em microvolts), não é afetada pela temperatura, viscosidade, pressão, turbulência, densidades específica/relativa e condutividade elétrica do líquido medido, desde que a condutividade elétrica esteja acima do valor mínimo exigido.

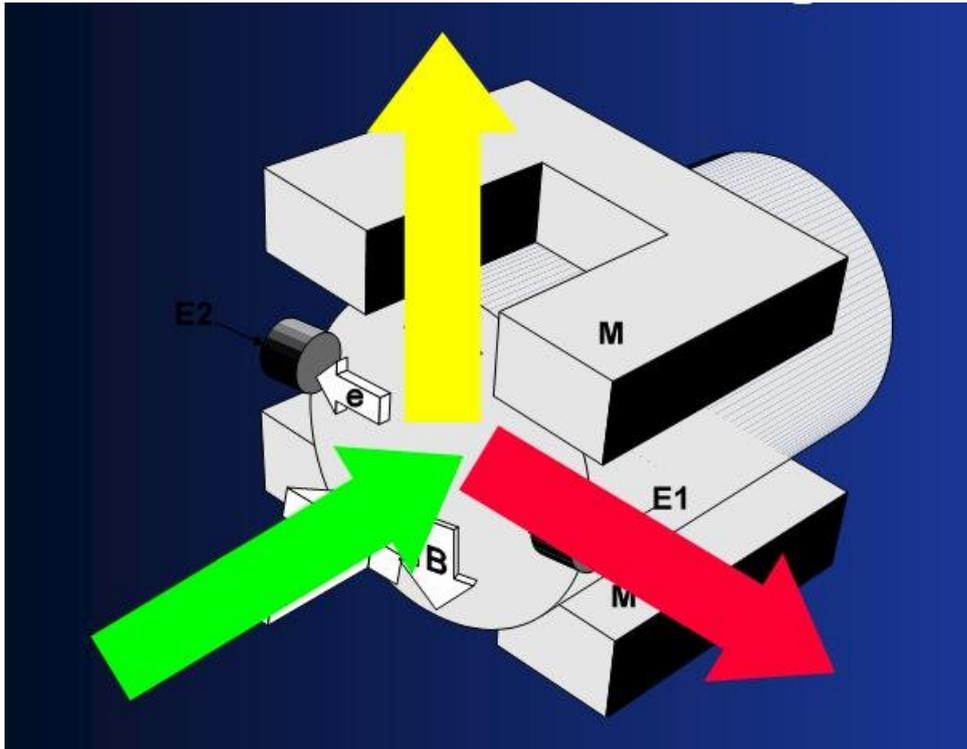


Figura 1 – Representação do funcionamento do medidor magnético

A determinação da Força Eletromotriz Induzida é regida pela seguinte equação:

$$fem = Kg * B * L * v$$

Onde:

fem = Força Eletromotriz Induzida (tensão induzida nos eletrodos)

Kg = Constante Geométrica

B = Campo Magnético gerado pelas bobinas

L = Distância entre os eletrodos

v = Velocidade do fluido

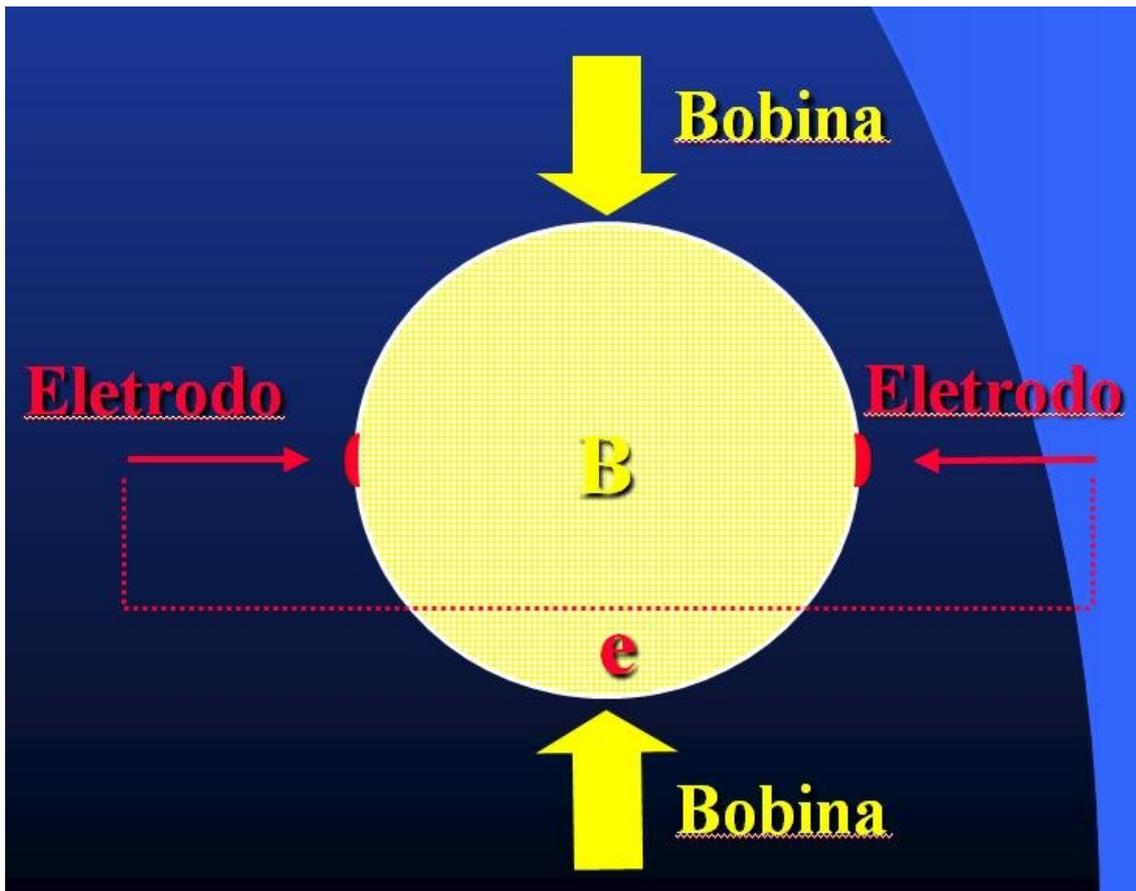


Figura 2 – Representação do funcionamento do medidor magnético

Uma vez que temos K_g , B e L constantes podemos simplificar nossa equação sendo:

$$fem = K * v$$

Podemos observar que a tensão induzida fem é diretamente proporcional à Velocidade de escoamento do fluido porém, notamos que há um fator multiplicador à velocidade denominado K . Este fator multiplicador é o famoso "Fator K " dos medidores eletromagnéticos. Este fator é imprescindível para o perfeito funcionamento do medidor e o seu levantamento, obrigatoriamente, deve ser realizado pelo fabricante após a fabricação do tubo medidor (sensor) e a única forma de determiná-lo, seria submetendo o sensor a uma calibração realizada em bancada apropriada.

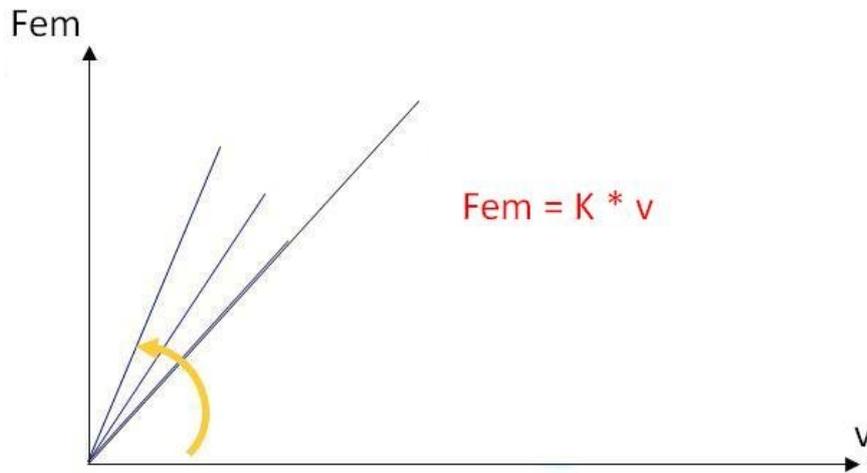


Figura 3 – Representação da atuação do Fator K

Uma das principais qualidades de um medidor é que o mesmo seja repetitivo e esta é uma característica do medidor de vazão magnético. No entanto, a curva de resposta do medidor após sua fabricação não é linear.

Após a calibração realizada em bancada apropriada, o fabricante consegue determinar a constante deste medidor, ou ainda o seu "Fator K", que transforma a curva de resposta do medidor em uma curva de resposta ideal.

E a vazão, como é determinada? Ora, uma vez que conhecemos a velocidade média de escoamento do fluido e conseguimos medi-la de forma exata com este sistema de medição quase perfeito, basta então multiplicá-la pela área da seção do medidor que pode ser determinada pela equação:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Onde:

A = área

π = pi = 3,14159265

D = diâmetro

Logo temos:

$$Q = fem \times K \times A$$

Onde:

Q = vazão

fem = Força Eletromotriz Induzida

K = Constante de Calibração determinado pelo fabricante

A = Área

Apesar de ser um medidor de vazão quase perfeito, o medidor eletromagnético tipo carretel tem como uma de suas desvantagens o aumento do custo do produto em razão do diâmetro, bem como o elevado custo de sua instalação em grandes diâmetros de rede, tornando-a às vezes, inviável economicamente. Em razão deste aspecto, ou seja, a inviabilidade econômica de instalação dos grandes medidores eletromagnéticos de vazão tipo carretel, fez com que alguns fabricantes de medidores eletromagnéticos partissem para o desenvolvimento dos medidores eletromagnéticos tipo inserção.

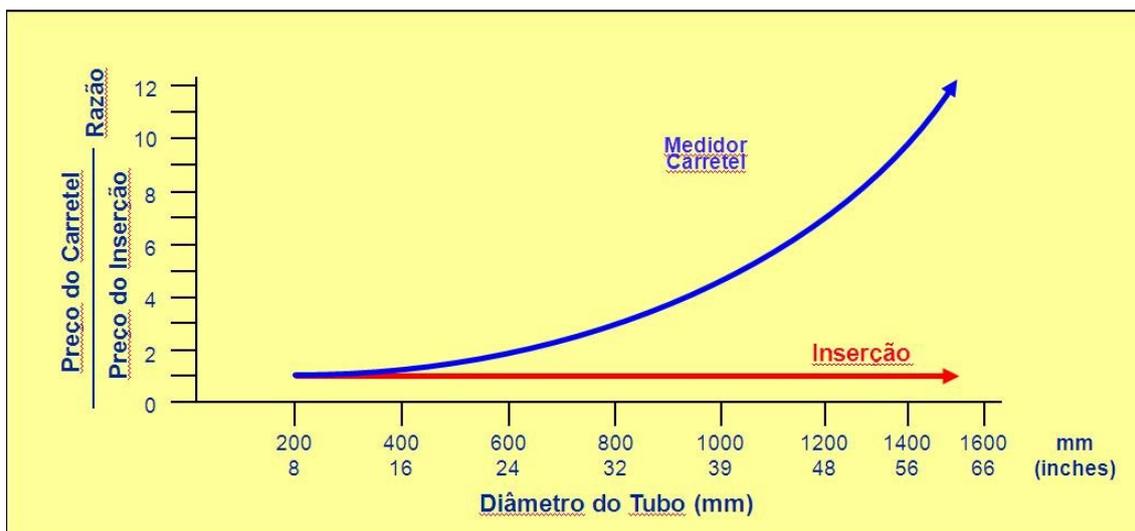


Figura 4 – Demonstração do aumento do custo do medidor magnético carretel em função do diâmetro do tubo

Infelizmente a tecnologia eletromagnética de inserção não propicia o mesmo nível de exatidão do medidor eletromagnético do tipo carretel. Tipicamente, o medidor magnético do tipo carretel apresenta erro abaixo de 0,5% da leitura e o Verdadeiro Medidor Magnético de Inserção apresenta erro abaixo de 2% da leitura e dependendo do critério de sua instalação pode chegar a erro inferior a 1% da leitura. Dependendo da aplicação, a utilização de um Verdadeiro Medidor de Vazão Eletromagnético de Inserção pode ser utilizada e tratando-se de empresas de saneamento a aplicação desta tecnologia é totalmente viável.

III - O Princípio de Medição de Vazão Eletromagnética tipo Inserção

Os primeiros medidores eletromagnéticos de inserção começaram surgir no mercado na década de 90. Apesar de trabalhar com o mesmo princípio do medidor eletromagnético tipo carretel, infelizmente esta tecnologia não é tão perfeita quanto o medidor magnético carretel. Isso se dá em razão de uma variável denominada Perfil de Velocidade que quando não for conhecida e aplicada nos medidores magnéticos de inserção podem incorrer em altíssimos erros de medição.

O medidor de vazão magnético de inserção pode ser considerado um híbrido entre um medidor magnético do tipo carretel e o tubo de Pitot. Esta afirmativa é verdadeira em razão deste tipo de tecnologia utilizar os conceitos de ambas as tecnologias.

Diferentemente do medidor magnético carretel, a medição da velocidade no medidor magnético de inserção é pontual, ou seja, a Força Eletromotriz Induzida gerada é em razão do vetor velocidade que passa pela ponta do sensor no ponto de exato de sua inserção.

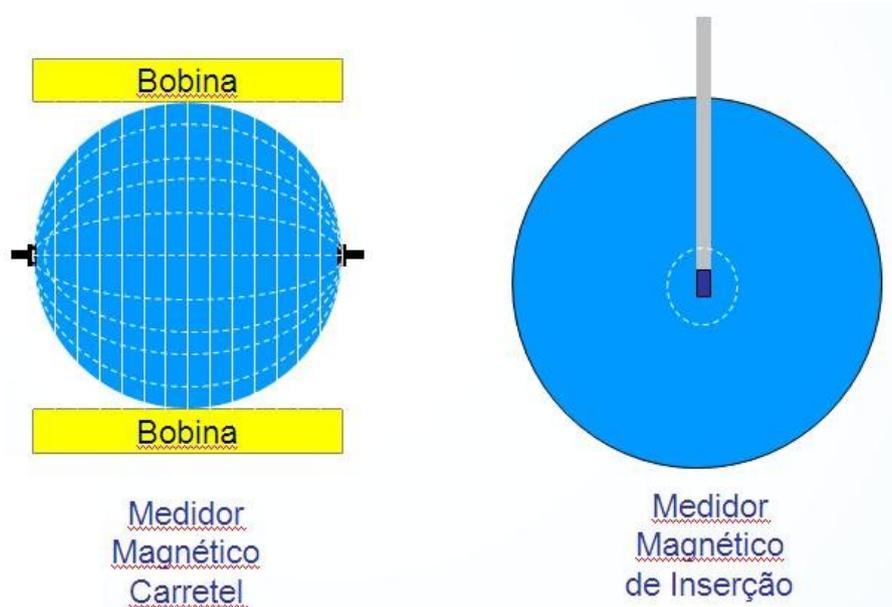


Figura 5 – Representação do campo magnético gerado pela medidor magnético carretel VS. Inserção

Apesar de possuírem a mesma tecnologia, a medição da vazão utilizando o magnético de inserção, deve ser munida de alguns cuidados, se não vejamos:

A partir da equação:

$$Q = fem \times K \times A$$

Onde:

Q = vazão

fem = Força Eletromotriz Induzida

K = Constante de Calibração determinado pelo fabricante

A = Área

Como a fem x K = Velocidade, simplificaremos a equação para:

$$Q = v \times A$$

Onde:

Q = vazão

v = Velocidade média

A = Área

Sabemos que em razão da viscosidade do fluido e da rugosidade do tubo, gera-se um atrito entre a parede do tubo e o fluido causando uma deformação nos infinitos vetores velocidade dentro do tubo gerando assim o que conhecemos como perfil de velocidade de escoamento fluídico dentro do tubo, que na condição turbulenta ($Re > 4000$) e considerando um trecho reto adequado, obtemos um perfil similar a figura 6.

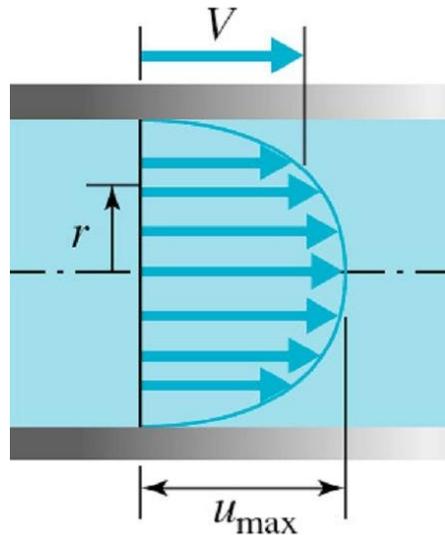


Figura 6 – Representação de um perfil de velocidade, em condição turbulenta, ideal

Teoricamente, o vetor velocidade de maior módulo é encontrado no centro da tubulação e o vetor velocidade média é encontrado a 1/8 ou 7/8 do diâmetro do tubo.

Infelizmente, em condição real nem sempre temos um perfil de velocidade uniforme como o ilustrado na figura 06, e por isso, nem sempre podemos afirmar que o vetor velocidade máxima esta exatamente no centro do tubo ou ainda que o vetor velocidade média encontra-se a 1/8 ou 7/8 do diâmetro.

Como a vazão é obtida pela multiplicação da velocidade média pela área e o medidor é capaz de medir apenas a velocidade pontual, há a necessidade de ser inserido o primeiro fator de correção, aqui denominado como K_p , na equação de determinação da vazão para os medidores magnéticos de inserção, ou seja, um fator que irá transformar o vetor velocidade medido em um vetor que corresponderá à média de todos os vetores. Logo teremos:

$$Q = A \times v \times K_p$$

Onde:

Q = Vazão

A = Área

v = velocidade pontual

K_p = Fator de Correção do Perfil

Agora que nossa velocidade foi corrigida, precisamos de nos atentar para outro fator de correção. Por se tratar de um medidor de inserção, a área da seção de medição não é mais determinada pela simples aplicação de fórmula. A área passa a ser a área do tubo menos a área de inserção e por isso, outro fator imprescindível nos medidores magnéticos de inserção é o que chamamos de Coeficiente de Inserção, aqui denominado como K_i .

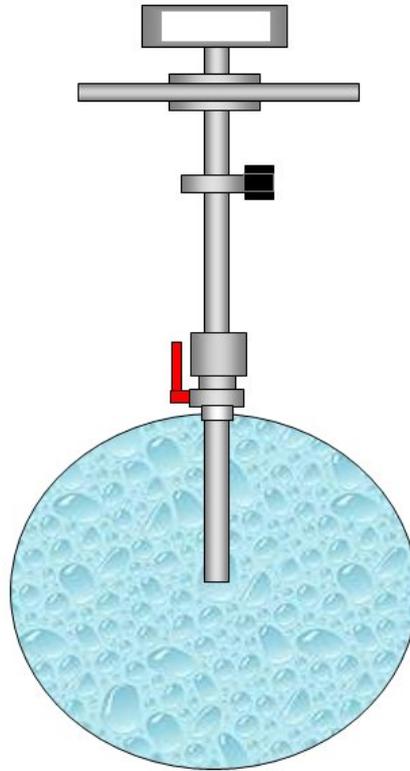


Figura 7 – Representação da projeção da haste do sensor na tubulação

Podemos observar através da ilustração acima que a área da seção de medição é na verdade a área do tubo menos a área de inserção do sensor logo, a equação da medição da vazão regida pelos medidores de inserção passa para:

$$Q = A \times K_i \times v \times K_p$$

Onde:

Q = Vazão

A = Área

K_i = Coeficiente de inserção

v = velocidade pontual

K_p = Fator de Correção do Perfil

Se expandirmos a equação acima para apresentar a fem, podemos observar que um medidor magnético de inserção necessita de no mínimo três tipos de constantes de correção, vejamos:

$$Q = A \times K_i \times fem \times K \times K_p$$

Onde:

Q = Vazão

A = Área

K_i = Coeficiente de inserção

fem = Força Eletromotriz Induzida

K = Constante de Calibração determinado pelo fabricante

K_p = Fator de Correção do Perfil

Obs.: É importante ressaltarmos neste momento que a constante K, uma vez determinada pelo fabricante, não deve mais ser alterada. Caso o operador venha a realizar qualquer tipo de alteração nesta constante para realizar qualquer tipo de correção, a linearidade do medidor será afetada drasticamente e com certeza acarretará em resultados de medição inexatos.

Agora que temos conhecimento das constantes mínimas para o perfeito funcionamento de um medidor magnético de inserção, como fazemos para obtê-las?

- 1- A constante K, obrigatoriamente, deve ser determinada pelo fabricante e estampada no corpo do sensor e no conversor do instrumento deverá constar um campo específico para entrada deste valor;
- 2- A constante K_i é obtida através de uma equação que relaciona o diâmetro do tubo e as dimensões do sensor. Normalmente, os Verdadeiros Medidores Magnéticos de Inserção possuem as equações internas e ao informar o diâmetro do tubo a ser instalado e a posição de inserção do sensor, o K_i é calculado automaticamente;
- 3- A constante K_p, apesar de poder ser determinada automaticamente pelos Verdadeiros Magnéticos de Inserção levando em consideração um perfil de velocidade ideal, recomenda-se em situações práticas que a mesma seja levantada através da Pitometria ou ainda utilizando-se o próprio medidor e em seguida, o valor calculado deve ser digitado manualmente. O cálculo do K_p é muito simples, se não vejamos:

$$K_p = \frac{V_m}{V_c}$$

Onde:

K_p = Fator de Correção do Perfil

V_m = Velocidade Média

V_c = Velocidade Central

Exemplo de cálculo do K_p para instalação do sensor no centro de um tubo de 500mm

mm	Posição	Velocidade medida
0mm	1	0,75
50mm	2	0,79
100mm	3	0,83
150mm	4	0,86
200mm	5	0,9
250mm	6	0,91
300mm	7	0,89
350mm	8	0,86
400mm	9	0,83
450mm	10	0,81
500mm	11	0,78

Tabela 1 – Representação das Velocidades em diferentes pontos do tubo

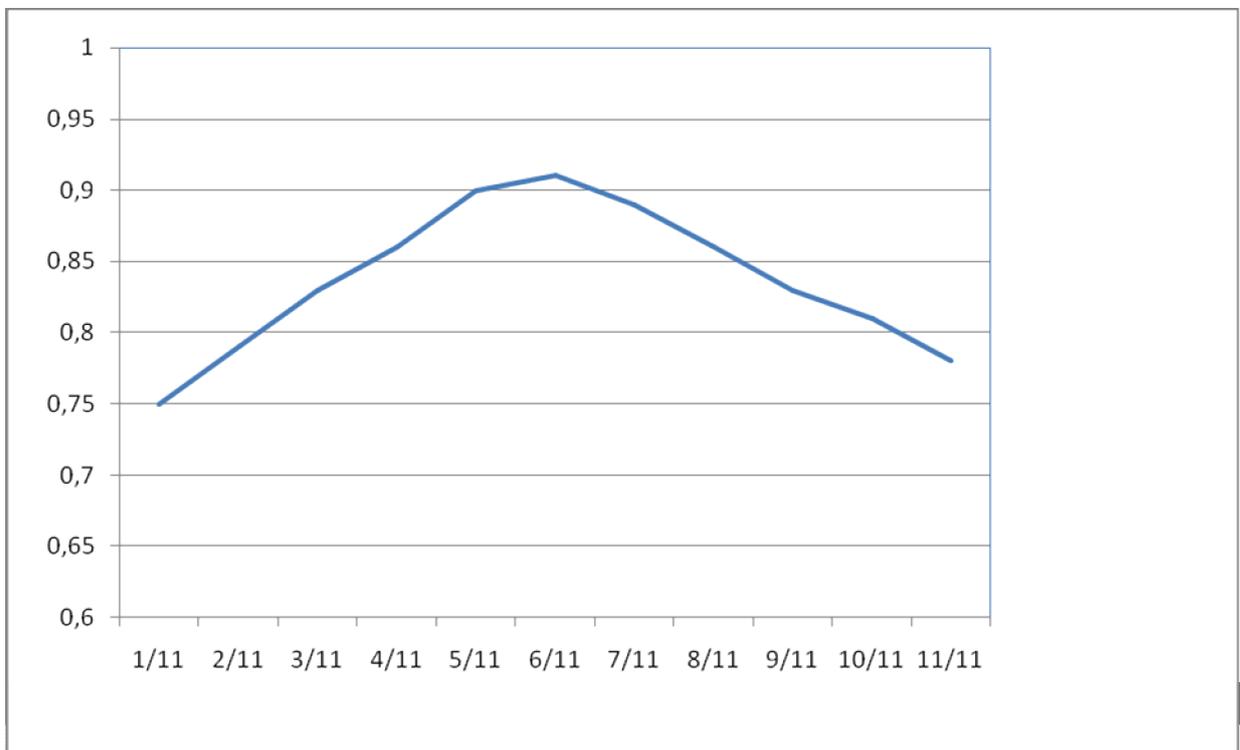


Figura 8 – Representação do Perfil de Velocidade

Logo temos:

$$V_m = (V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n)/n$$

V_c = Velocidade central na posição 6/11.

$$K_p = V_m/V_c$$

$$V_m = 0,837273$$

$$V_c = 0,91$$

Logo temos:

$$K_p = 0,92008$$

Obs.: Considerando a instalação a 1/8 ou 7/8, teoricamente, estes seriam os pontos aonde encontraríamos o vetor velocidade média e conseqüentemente, o K_p deveria ser igual 1. Como nem sempre isso é verdade, é importante que saibamos o valor desta velocidade média para compararmos com o valor obtido em 1/8 ou 7/8 para determinarmos a variação percentual do mesmo. Usando o exemplo acima, se ao posicionar o medidor a 1/8 do diâmetro, ou seja, $500/8=62,5\text{mm}$ e a velocidade de medição fosse de 0,87, poderíamos afirmar que o vetor velocidade média não se encontraria nesta posição. Caso o técnico decidisse permanecer com o sensor nesta posição e nenhuma correção fosse efetuada, o resultado da medição acarretaria em um erro de aproximadamente 4%. O correto neste caso seria o técnico inserir em K_p o valor de 0,96 para compensar esta diferença de 4%.

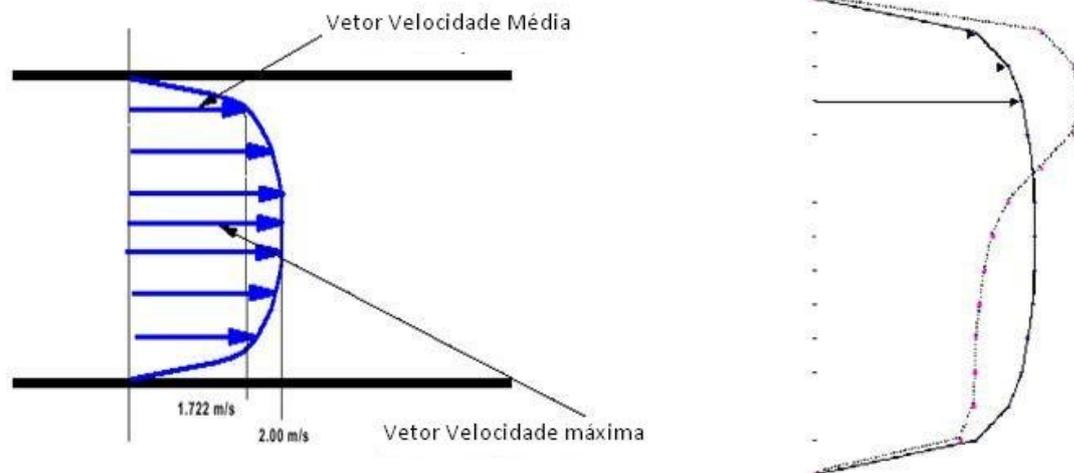


Figura 9 – Diferença de um perfil ideal para um perfil real

A figura acima ilustra bem a diferença que podemos encontrar nos perfis de velocidade.

IV – Conclusão e Recomendações

Um Verdadeiro Medidor Magnético de Inserção deve possuir, obrigatoriamente, um conversor dedicado a este tipo de sensor e ter a possibilidade de inserir o diâmetro real da tubulação e da posição de inserção do sensor no conversor. Mediante estas informações o medidor deverá calcular automaticamente o fator de correção de inserção. O conversor deve possuir ainda o campo para inserir a correção do perfil de velocidade além do campo para informar a constante K do sensor determinado pelo fabricante. Assim como nos medidores magnéticos carretel, é desejável que o mesmo possua detecção de tubo vazio, diagnóstico automático do conjunto sensor-conversor, dentre outras características.

Procuramos neste artigo elucidar os pontos mais importantes para o perfeito funcionamento de um medidor magnético de inserção. Aqueles medidores que não possuírem no mínimo as correções apresentadas neste artigo, não poderão ser jamais classificados como medidores de vazão magnéticos de inserção. Estes equipamentos seriam classificados na instrumentação como chave de fluxo (pseudo medidores), ou seja, aqueles medidores que são capazes de medir algo e não são capazes de garantir o resultado de suas medições.

Há alguns fornecedores que estão ofertando para o mercado o que chamamos de chave de fluxo (pseudo medidor magnético de inserção). Por esta razão, em alguns casos, os resultados obtidos pelos clientes destes fornecedores não são satisfatórios. Infelizmente, isso faz com que esses clientes assumam esta péssima experiência como referência, colocando em descrédito a tecnologia do medidor magnético de inserção.

Apesar de parecer complexa, a instalação de um Verdadeiro Medidor Magnético de Inserção é extremamente simples. É muito importante que antes de se adquirir tal medidor, o cliente certifique-se que o fornecedor esteja ofertando um medidor que possua as condições mínimas acima mencionadas, bem como, um suporte técnico pós venda, apropriado para orientar os técnicos que irão instalar o produto.

Esperamos com este artigo poder contribuir com um pouco de conhecimento aos técnicos e engenheiros das diversas empresas que venham usufruir desta tecnologia para medir vazão e a partir desta leitura, estes possam refletir e buscar ainda mais informações a respeito deste assunto que muito fascina o autor deste artigo e que estes possam tomar suas próprias conclusões.

O fato do mercado comprador nem sempre possuir o conhecimento necessário para avaliar as opções oferecidas pelos fornecedores e tomar uma decisão consciente no momento da compra gerou a nossa preocupação e interesse em disseminar o conhecimento aplicável a estes tipos de medidores uma vez que acreditamos que somente através da educação técnica/elucidativa teremos condições de nos tornar profissionais cada vez mais qualificados.

Para finalizar, resumiríamos todo este artigo com a seguinte frase:

Jamais devemos medir por medir e tão pouco estimar, uma vez que erros nessas medições ou estimativas acarretará sempre em tomadas de decisões equivocadas podendo causar prejuízos imensuráveis.

Referências Bibliográficas

Pitometria e Macromedição nas Empresas de Saneamento, Lamon Gerado P.S. 2ª edição

Manual de Medição de Vazão. Gerard Delmée, 3º edição-2003.

Technical paper – Magmeter basics. Dr. Richard Furness, Gloucester-England.

Wikipedia – the free encyclopedia - http://en.wikipedia.org/wiki/Sextus_Julius_Frontinus