

Controlador Automático para Escoamentos de Gases

Aluno: Diego Russo Juliano
Orientador: Sergio Leal Braga

Introdução

Medidores e controladores de vazão são peças fundamentais nos principais setores industriais, como o petrolífero, alimentício, siderúrgico, químico, etc. Com eles, processos de grande complexidade podem ser executados com poucas incertezas, possibilitando o alcance de resultados que certamente seriam limitados pela capacidade e por limites humanos.

Geralmente, tais equipamentos podem ser encontrados separadamente nas plantas industriais, mas tendo funcionamento conjunto. Um, o medidor de vazão, apenas mede o fluxo de gases ou líquidos, enquanto o outro fica responsável por restringir ou liberar o escoamento de forma que um determinado processo seja realizado dentro dos limites e parâmetros projetados.

O sistema de controle e medição de vazão desenvolvido e aprimorado na PUC-Rio pode ser subdividido em duas partes, a mecânica e a eletrônica (hardware e software), que se relacionam através de uma placa de aquisição de dados, transdutores de pressão e temperatura. A interação que ocorre entre o programa de computador e o sistema mecânico torna possível a alteração de sua configuração (ou posicionamento físico) em tempo real, de acordo com a necessidade de aumentar ou diminuir a vazão do escoamento estipulada pelo operador do software.

Neste sistema, o controle da vazão de gás é realizado por um bocal que tem seu orifício parcialmente obstruído por uma agulha cônica, cuja movimentação, proporcionada por um motor de passo, faz com que a área da seção transversal ao escoamento seja modificada.

Objetivo

Concepção, projeto e dimensionamento de uma nova parte mecânica para o sistema de controle de vazão aplicável a diversos gases, já existente. O novo hardware foi projetado de forma que a sua fabricação e montagem sejam facilitadas e que a possibilidade de vazamentos seja substancialmente reduzida.

Metodologia

Com toda a experiência adquirida a partir dos diversos protótipos e testes feitos com controladores de vazão no Laboratório de Engenharia Veicular da PUC-Rio, foi idealizado um novo controlador, feito em uma única peça, cuja fabricação, montagem e manutenção fossem sensivelmente melhoradas.

Partindo desta motivação, diversos assuntos que envolviam a fabricação e o comportamento durante o funcionamento do controlador de vazão foram pesquisados em textos técnicos especializados e normas voltadas a estes temas.

Primeiramente, foi feito o levantamento das dimensões dos componentes do controlador de vazão antigo, que permaneceram no projeto novo (o motor de passo, sua haste e sua furação para montagem e acoplamento).

Foram feitos estudos sobre como o formato e dimensões da agulha influenciam na variação da área transversal ao escoamento e conseqüentemente, como isto vem a modificar o controle da vazão de gases através do controlador.

Conhecendo as dimensões das peças a serem aproveitadas e os resultados dos estudos sobre as dimensões e formatos das agulhas, foram realizados diversos estudos preliminares em CAD até que o modelo final fosse concluído.

Estudo da Variação da área Livre do escoamento em função do formato da agulha

Com o intuito de estudar como o formato da agulha pode ser capaz de influenciar a área livre para o escoamento dentro do controlador de vazão, foram feitas algumas simulações em Excel e observado como ocorre a variação da área destinada à passagem dos gases conforme a agulha é inserida no bocal, obstruindo-o.

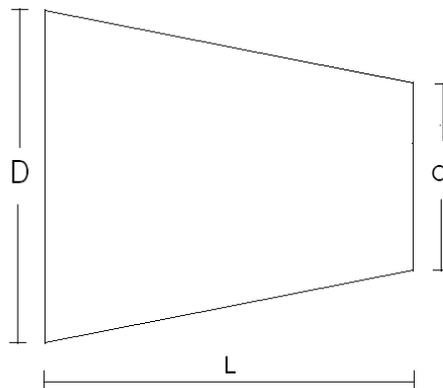
O diâmetro maior da agulha teve base no diâmetro do bocal, onde esta será inserida. Para tal foi escolhido o valor de 10mm, este capaz de obstruir completamente o fluxo de ar através do controlador de vazão.

O comprimento da agulha foi dimensionado de acordo com a variação mais ou menos abrupta da área transversal ao escoamento, com o curso máximo possibilitado pelo motor de passo (2") e com a velocidade de abertura e fechamento do bocal (fluxo máximo e mínimo de gás através do controlador).

- Quanto mais longa a agulha, mais tempo o sistema leva para ir do estado completamente aberto para o fechado, tornando-o mais lento e por isso com resposta demasiadamente demorada.

- Quanto mais curta a agulha, maior é a variação da área transversal ao escoamento, dado um diâmetro menor "d" fixo, tornando o controle da vazão mássica menos preciso.

- A agulha não poderia ser mais longa do que o curso oferecido pelo motor de passo utilizado (2"), pois se isso fosse projetado um dos dois casos indesejados iriam ocorrer: Ou em momento algum a agulha poderia ficar completamente fora do bocal ou ela não seria capaz de obstruí-lo completamente.



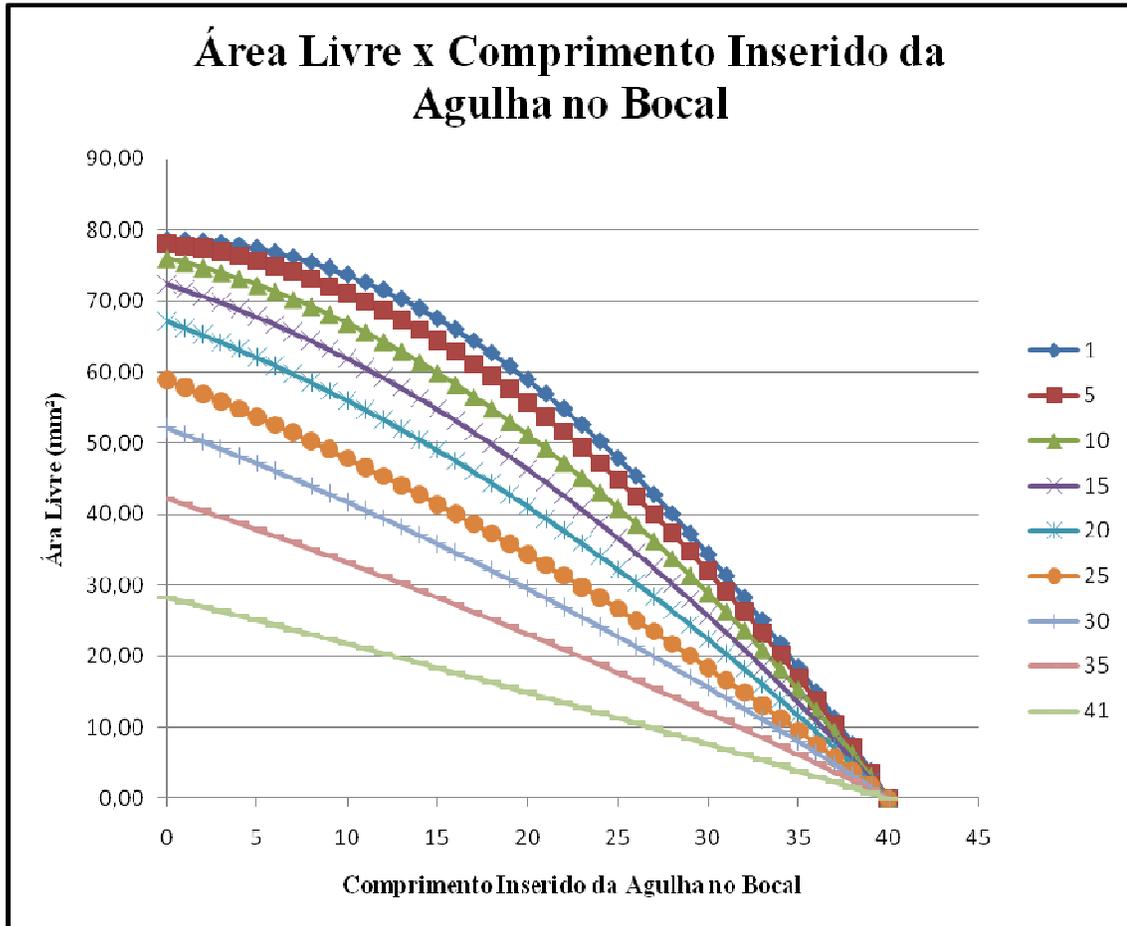
Esquema da Agulha - Tronco de Cone

$$D = 10\text{mm}$$

$$L = 40\text{mm}$$

$$0 \leq d \leq 8\text{mm} \text{ (diâmetro menor variando de 0 a 8mm)}$$

A seguir estão apresentados o gráfico e a tabela resumidos das simulações, destacando os casos de forma que a interpretação dos resultados seja facilitada.



Caso	1	5	10	15	20	25	30	35	41
D(mm)	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
L(mm)	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
d(mm)	0	0,8	1,8	2,8	3,8	4,8	5,8	6,8	8,0
A livre Max. (mm ²)	78,54	78,04	76,00	72,38	67,20	60,44	52,12	42,22	28,27

A partir dos resultados exibidos anteriormente, podemos concluir que quanto maior for o diâmetro da ponta da agulha, mais linear é a variação entre a área livre para o escoamento por comprimento inserido da agulha no bocal.

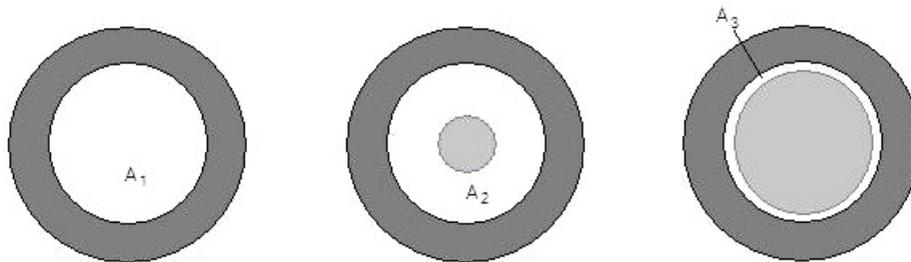
A Agulha como forma de flexibilizar o uso do controlador de vazão

Como o diâmetro do orifício do bocal é fixo, mas o controlador de vazão deverá ser capaz de operar em diversas faixas de vazão, temos que a forma mais eficiente para flexibilizar a utilização do sistema de controle de escoamento é fazendo uso de agulhas com dimensões diferentes.

Com o mesmo formato, tipo tronco de cone, podemos escolher agulhas com maior diâmetro em sua ponta para aplicações em que o fluxo de gases requerido para determinado processo é menor, enquanto a agulha cônica ($d = 0\text{mm}$) deverá ser aplicada em processos em que o escoamento requerido é maior.

Assim, temos a agulha como um elemento importantíssimo no sistema, funcionando como um limitador ou liberador do escoamento de acordo com a aplicação que quisermos dar ao controlador de vazão.

Na figura abaixo, temos um croqui que demonstra como o formato das agulhas influencia na área transversal do escoamento, mesmo em uma situação de inserção mínima.



Temos que:

A_1 é a área livre referente à inserção mínima da agulha cônica (pontiuada) no bocal – A área livre para o escoamento é máxima;

A_2 é a área livre referente à inserção de uma agulha com formato de tronco de cone com a ponta de diâmetro aproximadamente um terço do diâmetro do bocal;

A_3 é a área livre referente à inserção de uma agulha com formato de tronco de cone com a ponta de diâmetro aproximadamente 80% do diâmetro do bocal.

$$A_1 > A_2 > A_3$$

Extremidades do controlador de vazão (Conexões)

Após o estudo, em literatura especializada, das possibilidades de montagem do controlador de vazão em tubulações de processo, duas alternativas foram consideradas como soluções universais que seriam capazes de acoplá-lo com facilidade em sistemas de tubos: Extremidade flangeada ou roscada com rosca NPTF.

A conexão flangeada foi abolida deste projeto por três causas:

1 – Esta tornaria a fabricação do aparato mecânico mais difícil, já que o flange (uma peça comercial) teria de ser soldado no controlador, fato este que poderia trazer problemas posteriores como o empeno na peça, desalinhando os centros dos orifícios e impossibilitando o deslizamento perfeito da agulha no bocal.

2 – O flange é uma peça relativamente cara, que apesar de ser facilmente achada no mercado, acabaria por embutir custos maiores no preço final do controlador do que as simples roscas NPT.

3 – Como os diâmetros nominais de entrada e saída do aparato mecânico são respectivamente de 2 e $\frac{3}{4}$, temos tubulações de pequeno diâmetro associadas, tubulações estas

que, segundo normas e práticas recomendadas podem ser facilmente unidas com extremidades roscadas NPT sem que haja aumento significativo na possibilidade de ocorrência de vazamentos. Isto pode ser aceito porque a pressão máxima com que o controlador é esperado trabalhar será de 11Bar e temperatura em torno da ambiente (28C).

Sendo assim, as extremidades com rosca NPT foram as escolhidas em projeto.

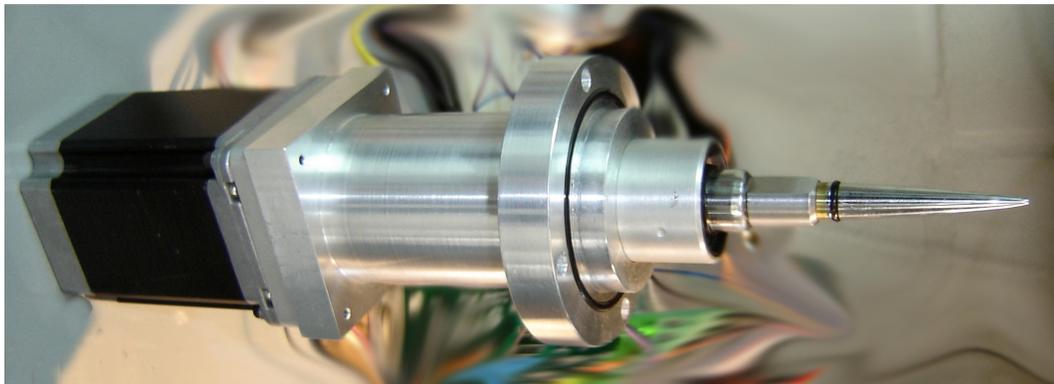
Partes Móveis – Motor de Passo

O motor de passo utilizado é aproveitado do projeto anterior, sendo assim, o projeto novo do controlador mecânico teve de ser todo desenvolvido já levando em conta suas dimensões, capacidades e limitações.

O motor de passo da Ultramotion, The Digit, modelo Nema 23 se fez extremamente útil e adaptável ao projeto novo, porque neste temos possibilidade de saber em tempo real qual é a posição exata da sua haste e conseqüentemente da agulha e nele já vem acoplado um sistema que transforma toda a movimentação rotativa em axial, que é exatamente o tipo de movimento necessário para obstrução ou abertura do bocal.

O modelo escolhido é rápido o suficiente para as aplicações e testes a que o projeto se propõe e é forte o bastante para mover sua haste contra a pressão à montante do bocal.

Mais um motivo para a escolha de um motor de passo como forma de movimentar e controlar o posicionamento da agulha no bocal é que este permite um controle fino do posicionamento da agulha e também de sua velocidade de deslocamento, enquanto se um motor elétrico fosse utilizado para tal o controle da movimentação seria grosseiro e não atenderia às necessidades do projeto.



Motor de Passo e agulha utilizada no projeto anterior



Motor de Passo - Imagem do Fabricante

Vedação da Haste

Um dos problemas enfrentados para evitar o vazamento do fluido escoado foi a vedação da haste do motor de passo. Para obstruir e abrir o bocal, controlando a vazão, a haste e a agulha precisam fazer constantes movimentos axiais e por isso um o'ring duplo com material interno em Teflon foi escolhido.

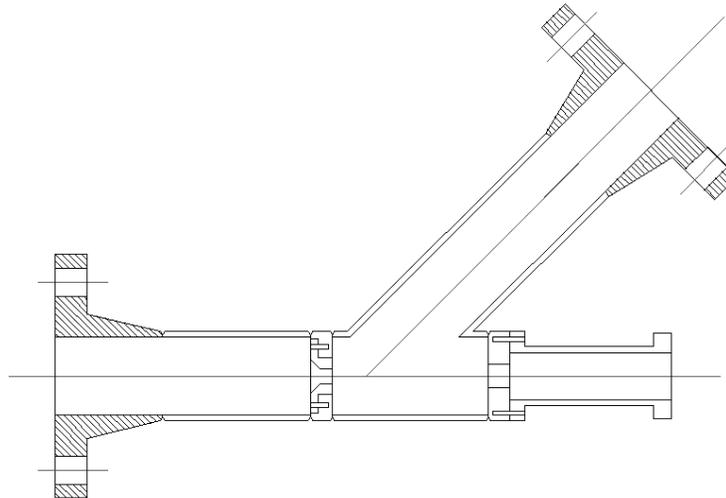
O intenso movimento axial implica em uma forte restrição para o uso de o'rings convencionais, já que estes passariam a ser elementos de desgaste constante, mantendo a vedação e a integridade funcional do controlador de vazão durante poucos instantes. Diferentemente, o o'ring com Teflon manterá a sua integridade e funcionalidade por longos períodos.



Anel de Borracha com interno em Teflon

Algumas idéias e soluções anteriores ao projeto final

Primeira Solução:

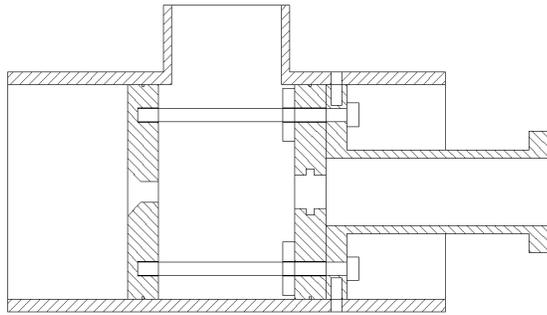


Neste momento, toda a estrutura principal foi baseada em peças comerciais, como dois flanges e um Te de 45 graus, enquanto o bocal e o suporte para o motor de passo seriam usinados de um tarugo único de inox.

Contras:

- 1- Muitas soldas. Como o aparato deve seguir dimensões com tolerâncias ao erro relativamente pequenas, então os cordões de solda provavelmente acabariam por causar empeno no conjunto, desalinhando os centros do suporte do motor de passo do centro do bocal.
- 2- Não é uma peça única

Segunda Solução



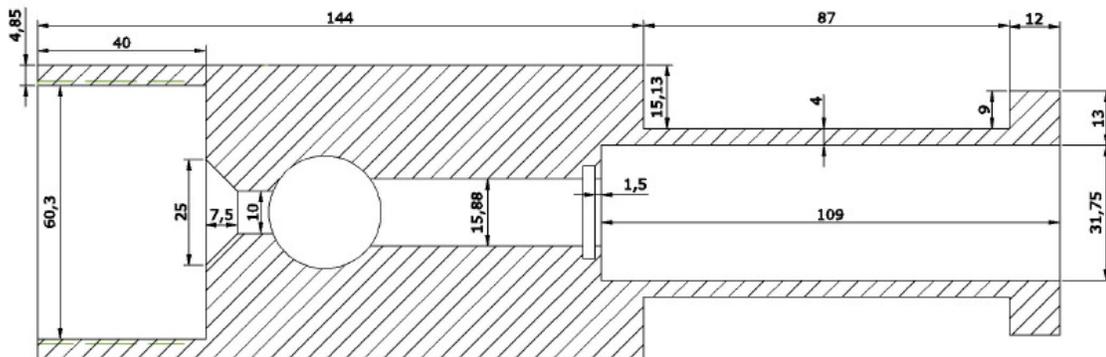
Nesta, o problema do desalinhamento devido à solda foi resolvido. Para a união entre o bocal e o suporte do motor de passo foram projetadas duas placas que seriam unidas por três parafusos e o conjunto inteiro seria envolvido por uma conexão comercial (um Tê de redução de 4"x2").

Contras:

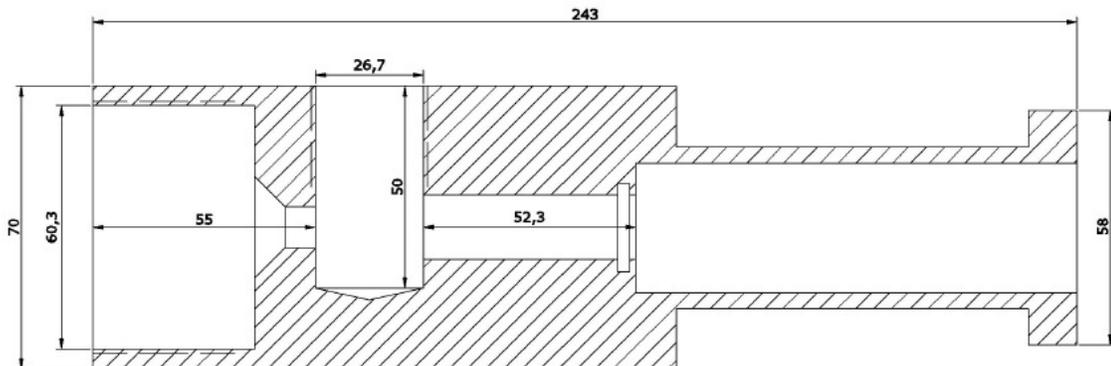
- 1- Os parafusos não proporcionariam grande rigidez ao sistema
- 2- Não é uma peça única

Solução final

Vista Superior



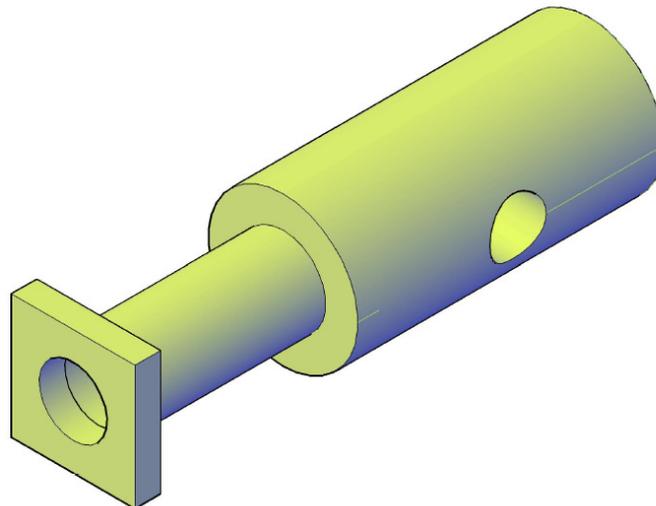
Vista Lateral



Vistas Traseira e Frontal



Perspectiva da peça

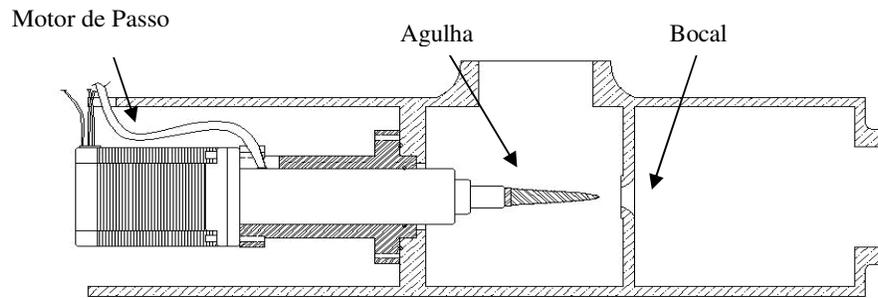


O projeto final do controlador é constituído de uma peça única, cuja usinagem deverá ser feita de um único tarugo, evitando com isso soldas. As dimensões do novo aparato mecânico são relativamente pequenas quando comparadas às do seu predecessor e seu processo de fabricação e montagem simplificados.

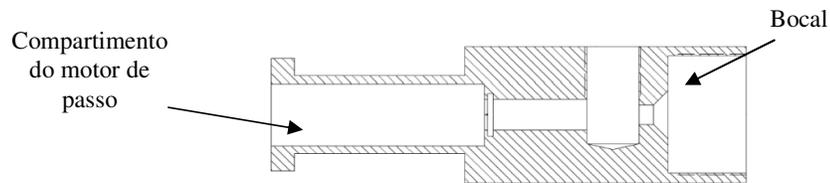
Conclusões

Como o princípio de funcionamento do novo controlador é similar ao antigo, toda a parte de software pôde ser aproveitada e para os seus testes e funcionamento será necessária apenas uma nova calibração sem maiores adaptações.

A nova peça dimensionada e projetada para substituir a parte mecânica do controlador antigo deverá ter um tamanho reduzido e sua fabricação e montagem serão muito facilitadas quando comparadas às peças do modelo anterior. Isto deve proporcionar sensível redução de tempo e de custos relativos à fabricação e montagem, mitigando também a possibilidade de vazamentos enquanto o sistema estiver em operação.



Esquema do controlador de vazão antigo



Esquema do controlador de vazão novo

Referências

- 1 – FOX R.W., MCDONALD, A.T., **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 5. ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1998. 504p.
- 2 – WYLEN, G.J.V., SONNTAG, R.E., BORGNAKKE, C., **Fundamentos da Termodinâmica**, tradução da sexta edição americana, Edgard Blücher, 2003. 574p.
- 3 – TELLES, PEDRO C. SILVA, **Tubulações Industriais Materiais, Projeto e Montagem**, 10. ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001. 252p.