



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Mecânica

PMC 581 – PROJETO MECÂNICO II

Relatório Final

ESTUDO PARA A ESCOLHA DE BOMBAS DOSADORAS

Coordenador: Edson Gomes

Orientador: Jayme Pinto Ortiz

Alunos: Fabrício Benato Jerônimo N°USP 2235739

Pedro Secches N°USP 2235580

São Paulo, Dezembro de 2000

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600005956

PROPOSTA DO PROJETO

A meta deste projeto é desenvolver uma ferramenta de análise de performance e seleção de bombas dosadoras. No andamento do projeto, isso sempre esteve claro. No entanto o meio para se chegar à essa meta se mostrou mais complexo do que se imaginava de início.

A princípio, passada a etapa de levantamento de informações e aprendizado dos aspectos das bombas que deveriam ser estudados, iniciou-se um trabalho de desenvolvimento de um modelo matemático baseado nos esforços e deformações dos elementos elásticos que compõem as bombas.

Em um primeiro instante, essa abordagem pareceu a mais interessante, pois como resultados da pesquisa realizada, levantou-se que as características dos materiais elásticos, os esforços a eles aplicados e as suas respectivas deformações constituem a base do funcionamento de bombas peristálticas e de diafragma.

No entanto, para se analisar elementos com deformações tão elevadas se mostrou extremamente complicado, visto que as hipóteses até então utilizadas, consistiam de hipóteses simplificadas utilizadas para cálculo estrutural de elementos sujeitos à pequenas deformações, onde não ocorre modificação da seção transversal, e portanto não se aplicam ao caso estudado.

Portanto, levando-se em conta que o único modo de se analisar o comportamento dessas bombas relacionando-o com as características dos elementos elásticos seria através de uma análise pelo método dos elementos

finitos (recurso esse que não se mostra disponível), abandonou-se a abordagem teórica e passou-se a focalizar em uma abordagem mais empírica.

A partir desse ponto dirigiu-se o estudo no levantamento de curvas de rendimento entre outros fatores operacionais e a partir dessas curvas chegou-se a conclusão mostrada posteriormente no projeto.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO DO PROJETO	7
2. EQUIPAMENTOS ESCOLHIDOS	8
2.1. CLAX L2000	8
2.2. Clax BR	10
2.3. Tetralon/Wilden M 0.25 com solenóide	11
2.4. Prominent Concept 0.215	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1. Bombas Peristálticas	15
3.1.1. Funcionamento	16
3.1.2. Tubos Peristálticos	19
3.1.3. Características de Operação	23
3.1.4. Fatores de influência na performance da bomba	26
3.2. Bomba de diafragma	28
3.2.1. Tipos de bombas de diafragma	30
3.2.2. Algumas aplicações da bomba de diafragma pneumática.	38
3.2.3. Materiais dos componentes	40
3.2.4. Seleção do melhor diafragma para uma bomba de diafragma pneumática	41
3.2.5. Vantagens da Bomba de Diafragma	44
3.2.6. Fatores Operacionais	45
4. DADOS OBTIDOS NO ESTUDO DAS BOMBAS	46

4.1. Método de análise	46
4.1.1. Bombas peristálticas:	46
4.1.2. Bombas Pneumáticas com Duplo Diafragma:	47
 5. DADOS	 51
 6. CURVAS LEVANTADAS	 54
 7. EXEMPLO PRÁTICO	 56
 8. CONCLUSÃO	 59
 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 61

1. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Bombas dosadoras, como o próprio nome diz, são bombas que tem por finalidade o transporte de um produto com um fluxo contínuo e preciso. Tais características são fundamentais no ramo das indústrias químicas, que precisam de produtos dosados em quantidades e proporções determinadas com uma pequena margem de erro.

Este projeto tem como objetivo o estudo e a análise de bombas dosadoras (dos tipos peristálticas e de diafragma), avaliando se as condições tidas como de funcionamento ótimo realmente se aplicam em diversos casos de utilização dessas (entre eles, lavanderias industriais, cozinhas industriais, indústrias alimentícias, sistemas de emissão de efluentes, etc.). Para isso, pretende-se analisar os diversos esforços a que são submetidas, bem como as demais condições de trabalho em que operam (potência, durabilidade, resistência, entre outras).

Com esse estudo em mãos, deverão ser geradas diversas conclusões quanto às vantagens e limitações das bombas escolhidas nas aplicações estudadas, fornecendo com isso uma fonte confiável de dados para a escolha de bombas dosadoras de acordo com a utilização pretendida.

2. EQUIPAMENTOS ESCOLHIDOS

Os modelos de bombas escolhidos foram os seguintes:

Bombas Peristálticas: - CLAX L2000

- CLAX BR

Bombas de Diafragma: - Tetralon/Wilden M 0.25 com solenóide

- Prominent Concept 0.215

A seguir tem-se uma breve descrição de cada equipamento, bem como as suas especificações técnicas.

2.1. CLAX L2000

O CLAX L2000 é um dosador utilizado principalmente em operações de lavanderia. O CLAX L2000 pode ser operado em 4 modos diferentes: sequencial, convencional, relay e smart relay.

- Sequencial: A dosagem é temporizada conforme o processo de lavagem. Neste caso, deve-se conhecer o processo em detalhes para que os produtos entrem no momento correto.
 - Convencional: As bombas são acionadas por sinais (trigger) e ajustadas por programa
 - Relay: O equipamento é totalmente escravo à máquina lavadora
 - Smart Relay: O equipamento é controlado pelos sinais da máquina lavadora sendo calibrado através de programação.
-

Componentes:

- Módulo Principal com três bombas peristálticas SnapHead grandes
- Módulo Auxiliar com duas bombas peristálticas SnapHead pequenas (opcional)
- Módulo de interface Trigger para 5 triggers
- Módulo de controle para a programação de Fórmulas

Especificações:

Sistema

- Lavadoras atendidas: 1
- Químicos Dosados: até 5
- Temperatura ambiente de operação: 0 – 50 °C

Componentes

- Bomba SnapHead Grande

Tipo: Peristáltica com dois roletes com mola para a auto compensação do desgaste da mangueira

Material do tubo peristáltico: Nordel (diâmetro interno=3/8")

Capacidade: Velocidade baixa: 840 ml/min

Velocidade Alta: 1100 ml/min

Vácuo: máximo de 200 mm de mercúrio

Pressão: máximo de 1,4 bar

- Bomba SnapHead Pequena

Tipo: Peristáltica com dois roletes

Material do tubo peristáltico: D-Flex (diâmetro interno=1/4") ou
Nordel (diâmetro interno=3/16")

Capacidade: Velocidade baixa: 172 ml/min (D-Flex) ou 110 ml/min
(Nordel)

Velocidade Alta: 256 ml/min (D-Flex) ou 160 ml/min
(Nordel)

Vácuo: máximo de 200 mm de mercúrio

Pressão: máximo de 1,4 bar

- Módulo Principal

Medidas: 17,2 X 29,2 X15,9 cm

Material: Aço Inox

Peso: 2,9 kg

Potência: 24 VAC com 2 ampères

- Módulo Auxiliar

Medidas: 17,2 X 20,3 X15,9 cm

Material: Aço Inox

Peso: 1,5 kg

Potência: 24 VAC com 2 ampères

2.2. Clax BR

O CLAX BR é um equipamento dosador para utilização em operações de lavagem de lavanderias. O CLAX BR é composto por cinco bombas peristálticas e um controlador eletrônico de processos com capacidade para

armazenar até 8 processos de lavagem. O controlador eletrônico de processos permite o controle de todo o processo de lavagem, avisando o operador o momento de abertura das válvulas de água fria ou quente, vapor ou dreno, e dosando produtos automaticamente.

Especificações:

- Dimensões: 208 X 167 X 796 mm
- Peso: 10 kg
- Temperatura de operação: 0 a 50 °C
- Motor: Tensão: 24V DC
 - Corrente de Trabalho: 2 ampères
 - Rotação: 120 rpm
- Bombas: Tipo: peristáltica com duplo rolete e mola para auto compensação do desgaste do tubo
- Material do Tubo: Silastic
- Vazão: Água: Máxima – 1500 ml/min
 - Mínima – 1350 ml/min
 - Produtos Viscosos: Máxima – 1100 ml/min
 - Mínima – 800 ml/min

2.3. Tetralon/Wilden M 0.25 com solenóide

Nesse tipo de bomba é o solenóide que comanda o sistema de distribuição de ar. Este é acionado por pulsos elétricos (110 V) enviados por um gerador eletrônico de pulsos. A cada pulso elétrico, a bomba desloca uma quantidade de fluido bem conhecida.

A boa repetibilidade do deslocamento de fluido por pulsação aliada a programação feita no gerador de pulsos permite que se dose com precisão predeterminados e se bombeie com vazão bem conhecidas e constantes. O solenóide proporciona uma significativa precisão na dosagem.

Principais características:

- Não há vazamentos, já que não possui selo mecânico ou gaxetas.
- Auto-aspirante, mesmo partindo totalmente a seco, com líquido até 6 metros abaixo da bomba.
- Não perde a eficiência com o tempo.
- Trabalha a seco.
- Não há necessidade de válvula de alívio/segurança ou pressostato.
- Segurança, devido ao acionamento pneumático.
- Leve e compacta.
- Baixíssimo custo de manutenção.

Aplicação:

Dosagem de aditivos em lavadoras de garrafas, limpeza CIP (cleaning in place).

Especificações:

- Tamanho: 144 x 140 x 163 mm
 - Peso: 1,5 Kg (polipropileno)
 - Material da carcaça: polipropileno
 - Material do diafragma: Teflon ou Wil-Flex
-

- Condições de operação: Temperatura: entre 0 a 79,4 °C.

Vazão: 0 a 1,1 m³/h.

Pressão máxima de ar: 8,8 bar

Contra pressão: 7 bar

2.4. Prominent Concept 0.215

Esse modelo é caracterizado como uma eletro-válvula com um diafragma, controlada por pulsos. Para cada pulso proveniente do controle eletrônico o solenóide se energiza e completa um pulso de no máximo 1,25mm. O diafragma, estabilizado por um núcleo de aço, desloca o líquido. O solenóide é desligado quando o movimento acaba e retorna a posição inicial através de uma mola.

Aplicação:

Dosagem de aditivos em lavadoras de garrafas, tratamento de pausterizadores e torres de caldeira.

Especificações:

- Tamanho: 216 x 190 x 90 mm.
 - Peso: 2,0 Kg
 - Material da carcaça: polipropileno.
 - Condições de operação: Temperatura: entre -10 a 45 °C.
-

Vazão: 15,8 l/h.

Contra pressão: 1,5 bar.

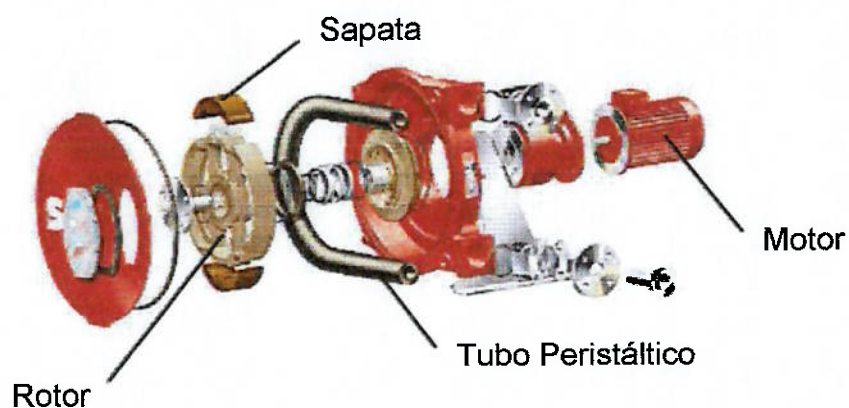
Taxa de pulsos: 120 pulsos/min

Parte elétrica: 230/115 V, 50/60 Hz

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Bombas Peristálticas

Bombas Peristálticas são bombas de deslocamento do tipo rotativas e pela definição são bombas onde energia é periodicamente adicionada pela aplicação de uma força em uma ou mais barreiras móveis gerando um aumento de pressão de um lado e criando um vácuo do outro, succionando o fluido na entrada e empurrando na saída. A figura 1 abaixo mostra a vista



explodida de uma bomba peristáltica.

Figura 1 – Bomba Peristáltica

3.1.1. Funcionamento

A bomba peristáltica é, provavelmente a bomba de origens mais antigas. Seu nome provém do latim *peri* (movimento em torno) e do grego *stalsis* (compressão) e seu princípio de funcionamento baseia-se em um movimento muscular encontrado em animais a milhões de anos.

O funcionamento das bombas peristálticas se baseia no conceito de movimento peristáltico, que pode ser encontrados em animais em geral e consiste em uma sucessão de contrações de tubos musculares provocando uma ondulação sucessiva que empurra a matéria presente no interior do tubo. O movimento peristáltico é fundamental para o funcionamento do organismo dos animais e pode ser encontrado principalmente no aparelho digestivo, onde o alimento e os excretas do processo digestivo são transportados ao longo esôfago e dos intestinos pela ação peristáltica, nos pulmões e nas veias.

O princípio de funcionamento da bomba peristáltica baseia-se nesse conceito, só que se em um organismo o movimento peristáltico é feito por um tubo muscular que se contrai gerando o movimento ondular de suas paredes, em bombas peristálticas esse movimento é simulado por um tubo de material elástico que ao invés de se contrair é pressionado e empurrado ao longo de seu comprimento por um mecanismo (came excêntrico, roletes, etc. – geralmente roletes são utilizados) movimentado por um rotor conectado a um motor.

O bombeamento, nas bombas peristálticas, é feito pela repetição de um ciclo de bombeamento que pode ser dividido em três etapas. Na primeira

etapa, o tubo situado entre o rotor e a carcaça da bomba, após ser comprimido pelo rolete, restitui à sua forma original, aumentando o volume interno do tubo entre o rolete que passou e a superfície do fluido a ser bombeado. No entanto, como o ar presente originalmente entre o rolete e a superfície do fluido foi empurrado pelo rolete, o aumento de volume interno gerado pela restituição da forma do tubo cria um vácuo na entrada da bomba que succiona o fluido para dentro da bomba (Ver Figura 2).

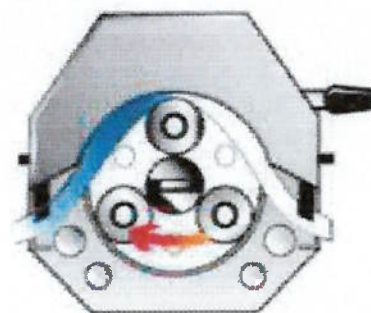


Figura 2

Na segunda etapa, o segundo rolete começa a pressionar o tubo criando um bolsão de fluido entre os dois roletes. Com isso, o vácuo criado antes do primeiro rolete deixa de existir e cria-se um vácuo antes do segundo rolete (idem à primeira etapa). Por causa disso, o fluido presente no bolsão deixa de ser sugado e passa a ser empurrado pelo segundo rolete (Ver Figura 3).

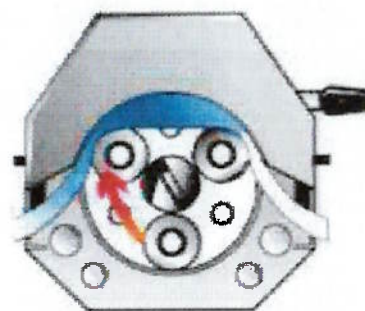


Figura 2

Na terceira etapa, o primeiro rolete deixa de pressionar o tubo e o fluido contido no bolsão passa a ser empurrado pelo segundo rolete para fora da bomba. Enquanto isso, o segundo rolete continua succionando fluido da entrada da bomba e o próximo rolete se aproxima para reiniciar o ciclo (Ver Figura 4).

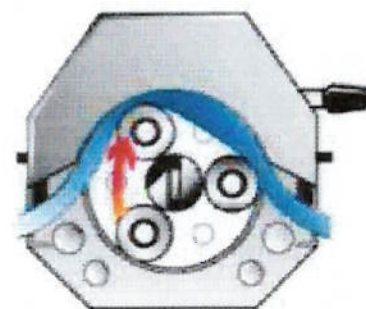


Figura 4

Como se pode notar, o princípio de funcionamento das bombas peristálticas elimina por completo o risco de contaminação do fluido e do equipamento, pois o fluido é transportado manipulando-se apenas a parte externa do tubo, e com exceção do interior do tubo não há nenhuma outra parte da bomba em contato com o fluido.

O refluxo nas bombas peristálticas é evitado mantendo o tubo peristáltico completamente fechado no ponto de contato do tubo com o rolete e, além disso, o movimento do rolete deve ser de tal forma que o tubo permaneça fechado enquanto o rolete se move, ou seja, não deve haver em momento algum durante o movimento do rolete conexão entre a parte do tubo situada antes do rolete e a parte situada depois.

Para isso deve-se levar em consideração que para se ter um fechamento completo de um tubo anular típico deve-se pressionar o tubo até se obter uma redução de aproximadamente 10% da espessura da parede. Além disso, o tubo deve retornar à sua forma original antes da passagem do próximo rolete, independentemente das condições de pressão adversas (como em casos de levantamento de líquido por sucção) que se forem significativas podem inibir a restituição do tubo. Como resultado tem-se que bombas peristálticas não necessitam de válvulas ou selos mecânicos, pois o tubo atua como válvula e como barreira móvel para transporte de fluidos.

3.1.2. Tubos Peristálticos

O tubo utilizado em bombas peristálticas não pode ser qualquer tubo, mas deve ser um tubo flexível de material elastômero moldado formulado especialmente para responder adequadamente a um número máximo de requerimentos industriais, além de resistir aos esforços mecânicos aplicados ao tubo. Os materiais disponíveis para a fabricação de tubos peristálticos são a borracha natural, borrachas sintéticas como nitrila, Neoprene, Silicone, Fluorel, Butil e Viton, plásticos como PVC e poliuretano, e co-polímeros complexos como Marprene e Bioprene.

- Vida do tubo

A vida de um tubo peristáltico quando em uso depende de vários fatores entre eles a pressão de operação, a temperatura do fluido, a natureza química do fluido sendo bombeado, além do material do tubo e suas dimensões. Como a vida de um tubo peristáltico influi diretamente no tempo que uma bomba peristáltica pode operar sem necessitar manutenção, deve ser feita uma seleção criteriosa do material do tubo. Para isso deve-se analisar primeiramente a compatibilidade química do material do tubo com o material a ser transportado. Em seguida deve-se analisar a compatibilidade física do material com as condições de operação da bomba.

Embora esse tempo seja bastante inferior ao de outros tipos de bombas, a bomba peristáltica possui vantagens que compensam essa desvantagem: a

bomba peristáltica possui um tempo de reparo (troca de tubo) bastante inferior ao de outras bomba, que quando precisam ser recuperadas tem que ser desativadas por um período bastante significativo.

- Seleção do material do Tubo

Os materiais mencionados no início deste capítulo (Ver Tubos Peristálticos) são os responsáveis pelo progresso observado na indústria de bombas peristálticas nos últimos anos, pois tomando-os individualmente ou coletivamente, esses materiais cobrem uma ampla faixa de químicos que podem ser bombeados por bombas peristálticas sem perder as suas características físicas e químicas sob as mais duras condições de operação, mantendo o bombeamento do fluido constante.

Uma vantagem que pode ser extraída dessa característica específica é que as bombas peristálticas tem a possibilidade de lidar com os mais diversos químicos sem ter que higienizar a linha de transporte, basta trocar o tubo da bomba por um novo que seja resistente ao novo químico que será transportado.

Como mencionado anteriormente, para selecionar o material do tubo deve-se antes analisar a compatibilidade do material do tubo e do fluido que será transportado, e com isso garantir que quando a bomba estiver operando não ocorrerão reações químicas entre os dois elementos que poderiam resultar em perda da integridade do tubo e possível vazamento do fluido, além de um possível alteração das características do fluido. Para se evitar isso deve-se

selecionar o material com o auxílio de uma tabela de compatibilidade química que pode ser adquirida nas referências [8], [9] e [10].

A análise da compatibilidade física deve ser realizada posteriormente à análise de compatibilidade química e deve-se levar em conta os fatores mostrados abaixo:

- Temperatura

	-4F	32F	50F	68F	86F	104F	122F	140F	158F	176F
Bioprene/Marprene										
Silicone										
Neoprene										
Butyl										
Fluorel ®										
PVC										
Viton ®										
	-20C	0C	10C	20C	30C	40C	50C	60C	70C	80C

- Permeabilidade

Bioprene/Marprene										
Silicone										
Neoprene										
Butyl										
Fluorel®										
PVC										
Viton®										
	Baixa	Permeabilidade								Alta

- Poder de Restituição

Bioprene/Marprene										
Silicone										
Neoprene										
Butyl										
Fluorel®										
PVC										
Viton®										
	Baixa	Poder de Restituição								Alta

- Resistência à Pressão

Bioprene/Marprene										
Silicone										
Neoprene										
Butyl										
Fluorel ®										
PVC										
Viton ®										
	Baixa	Resistência à Pressão								Alta

3.1.3. Características de Operação

- Pressão de Saída

Pelo menos 80% das bombas peristálticas utilizadas atualmente operam a uma pressão de saída inferior a 2 bar utilizando tubos não-reforçados. Tubos peristálticos não-reforçados podem operar com uma pressão de saída de até 15 bar, porém isso é raro e nesses casos, onde pressão alta de saída é um fator importante utilizam-se tubos peristálticos reforçados.

Nesses tubos reforçados as tarefas de contenção de pressão e de restituição à forma original são realizadas em conjunto por uma manta de fibras de um aço especial ou de materiais de reforço e pelo material elastômero que constitui a parede do tubo.

Os tubos reforçado diferem em muitos aspectos dos tubos contínuos ou não-reforçados descritos anteriormente. Ao contrário dos tubos contínuos, os tubos reforçados, com sua camada extra de material reforçante, é consideravelmente robusto, o que significa que para deformá-lo a ponto de fechá-lo completamente é necessária a aplicação de uma força muito maior que aplicada nos tubos contínuos. Com isso, a força de atrito entre o rolete e o tubo se torna tal que é necessário utilizar lubrificantes no sistema para reduzir os níveis de fricção e de temperatura do sistema.

Outro aspecto importante é que os materiais utilizados em tubos reforçados normalmente não cobrem uma faixa muito ampla de compatibilidade química, pois muitos dos materiais utilizados na fabricação dos tubos de maior compatibilidade química não estabelecem uma adesão forte o suficiente com o material reforçante, o que é essencial para os dois elementos se comportarem como um só.

- Sucção

Bombas peristálticas são por definição auto-escorvantes, porém essa característica depende intimamente da elasticidade do tubo . Deve-se levar em conta que além do diferencial de pressão gerado pelo sucção do fluido, o tubo tem que suportar ainda a ação repetida do rolete e se restituir antes da passagem do próximo rolete.

- Fluxo de Fluido Pulsante

Apesar de nem sempre ser aparente, o fluxo de fluido nas bombas peristálticas é pulsante e dificilmente essa característica deixará de existir, pois como o próprio princípio de funcionamento das bombas peristálticas deixa bem claro, o fluido transportado é o fluido presente entre os roletes, e portanto uma quantidade fixa é transportada a cada rotação.

Dependendo das características do fluido transportado (densidade e viscosidade) e do tubo peristáltico utilizado (elasticidade e diâmetro interno) essa característica pulsante do fluxo pode ser maior ou menor, sendo que quanto maior a densidade e a viscosidade do fluido e quanto menor for o diâmetro interno do tubo, maior será o efeito pulsante do fluxo.

Geralmente esse efeito não é significativo ou então não influi tanto na atividade exercida pela bomba. Porém, quando isso não ocorre o efeito pulsante do fluxo pode ser diminuído adicionando-se roletes extras à cabeça da bomba. Com isso, diminui-se o tempo entre cada pulso, aumentando a continuidade do fluxo.

- Precisão em dosagens

Por se tratar de um tubo de material elastômero o elemento principal de funcionamento da bomba peristáltica, pode-se afirmar que há variação da performance da bomba dependendo da pressão interna do fluido e que essa performance tende a diminuir ao longo do tempo de uso até o final de sua vida útil.

Entretanto, dadas condições de temperatura e pressão constantes e com o tubo em um estado de desgaste inicial (sem grande variação da performance inicial), o fluxo de uma bomba peristáltica, embora pulsante, é consideravelmente constante por um período de tempo específico. Essa característica das bombas peristálticas lhes conferem precisão superior a outros tipos de bombas dosadoras. Além disso, adicionando-se um controle eletrônico para a operação da bomba e utilizando-a em um sistema em malha fechada é possível aumentar ainda mais a precisão da dosagem. Outra vantagem é que monitorando-se periodicamente pode-se efetuar a troca dos tubos peristálticos com pouco tempo de paralisação do sistema e voltar a operar com a mesma precisão.

3.1.4. Fatores de influência na performance da bomba

Enquanto as características do tubo são essenciais para a melhor performance da bomba, nenhum tubo pode ter performance máxima se não for tratado de modo mais delicado possível pela cabeça da bomba onde está inserido.

Para se garantir uma melhor performance do tubo deve-se obter um fechamento completo do mesmo quando pressionado pelo rolete. Isso pode ser obtido pressionando o tubo até se obter uma diminuição da espessura da parede do tubo dentro da faixa de 5% a 15%. Entretanto, é impossível garantir na prática um valor de diminuição de espessura ótimo (igual a 10% da espessura da parede do tubo) se levarmos em conta as tolerâncias da parede

do tubo e do rolete, bem como o fator de desgaste e perda de elasticidade do tubo. No entanto, utilizando-se um rotor com carregamento por molas nos roletes. Dessa forma conforme o tubo vai perdendo elasticidade, as molas empurram o rolete contra o tubo mantendo-o completamente fechado.

Outro fator importante para melhorar a performance da bomba é a força horizontal resultante do atrito do rolete com o tubo cuja tendência é empurrar o tubo para fora da carcaça da bomba. Essa componente horizontal da força atuante no tubo não pode ser eliminada, mas pode-se diminuí-la com o uso de lubrificantes e operando em velocidades mais baixas, além de usar grampos nas extremidades dos tubos de modo a impedir a sua movimentação ao longo da carcaça da bomba conforme os roletes o empurram.

Fatores tão importantes quanto os anteriores que influenciam a performance da bomba são o diâmetro do rolete e a razão entre o diâmetro interno e a espessura da parede do tubo.

O primeiro exerce influência direta na vazão permitida para a bomba, pois quanto maior o diâmetro do rolete maior a área de contato entre o rolete e o tubo e, portanto, menor será o volume interno do tubo situado entre os roletes. Além disso, quanto maior o diâmetro do rolete maior será o tempo em que o tubo ficará fechado, aumentando o tempo entre os pulsos e acentuando o caráter pulsante da vazão do fluido.

O segundo fator também exerce influência direta na performance da bomba, pois dadas as condições de operação a vazão será calculada multiplicando-se a área interna do tubo pela velocidade angular do rolete e pela

porcentagem de tempo que o rolete fica em contato com o tubo. Além disso, a relação entre o diâmetro interno e a espessura da parede do tubo influi na capacidade de restituição do tubo, influenciando portanto, na sucção gerada pela bomba.

3.2. Bomba de diafragma

Uma bomba de diafragma é uma bomba recíproca onde o elemento que bombeia é um diafragma flexível. A capacidade da bomba é diretamente proporcional ao diâmetro do diafragma, ao pulso e a taxa de reciprocidade. Como os pulsos dos diafragmas são necessariamente limitados, o diâmetro máximo do diafragma é determinado pela máxima velocidade de reciprocidade, que geralmente é baixa.

A vantagem oferecida pelas bombas de diafragma é que somente o diafragma, a entrada do fluido e sua saída deste entram em contato com o fluido e a chance de vazamento é praticamente nula.

As bombas de diafragma podem funcionar à seco sem danificações. Quando necessário, duplos diafragmas são utilizados para que, numa eventual falha de um dos diafragmas, o fluido pode ainda ser transportado sem vazamento.

As bombas de diafragma compreendem:

- i) Diafragma operado mecanicamente: o diafragma é acoplado em uma manivela ou em um mecanismo similar que cause uma oscilação.

-
- ii) Diafragma operado hidraulicamente: onde o movimento do diafragma é derivado de uma pressão flutuante geradas em uma câmara. Essa pressão proveniente dos pulsos é geralmente produzida por um pistão.
 - iii) Diafragma operado pneumaticamente: o diafragma é automaticamente movimentado por ar comprimido aplicado alternadamente nos lados opostos da câmara.
 - iv) Diafragma eletromagnético: o movimento do diafragma é causado por um êmbolo de um eletroímã, que é uma mola energizada por pulsos de corrente elétrica. Tais equipamentos são basicamente limitados para pequenos tamanhos e particularmente utilizados em medições, proporções e dosagens, em conjunto com um controlador eletrônico.
-

3.2.1. Tipos de bombas de diafragma

Aqui serão apresentados os tipos de bombas de diafragma, dando atenção especial as bombas de diafragma operadas pneumaticamente, que será o modelo estudado neste trabalho.

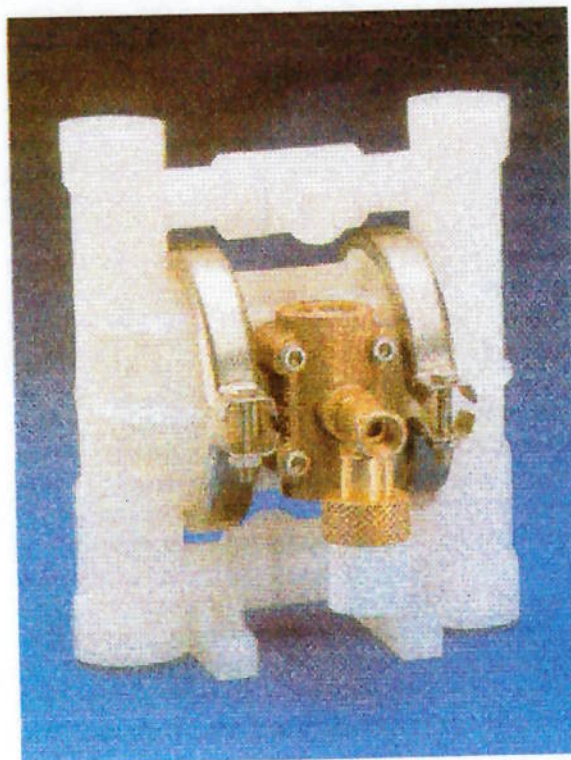


Fig. 5 Exemplo de bomba de diafragma pneumática

Bombas de duplo diafragma

As bombas de duplo diafragma são utilizadas em locais onde não possa haver vazamentos, na eventualidade de uma falha da bomba. Por exemplo, em uma operação de dosagem de produtos químicos, como a soda cáustica, é imprescindível a que o equipamento não vaze, por motivos de segurança.

O funcionamento do equipamento envolve dois diafragmas separados por uma pequena câmara, preenchida por um líquido inerte.

As bombas de diafragma são relativamente compactas e duas ou mais bombas podem ser conectadas, em série ou paralelo. Com uma operação em paralelo, duas bombas de diafragma podem ser combinadas em montagem única, provocando assim uma dupla ação.

Diafragma operado mecanicamente

Esse tipo de bomba tem a concepção e a construção simples, particularmente nos tamanhos maiores. Sua principal limitação é que o material do diafragma está sujeito a tensões altas e localizadas, e a máxima pressão que pode ser desenvolvida está limitada pela elasticidade do material.

No caso de um diafragma operada mecanicamente, a máxima pressão é limitada em torno de 3-3,5 bar e é geralmente menos, dependendo do tamanho do diafragma. Pressões da ordem de 300-350 bar são alcançadas pelas bombas de diafragma com pistão. Pressões maiores podem ser obtidas com diafragmas metálicas. Bombas de diafragma operados mecanicamente são largamente utilizadas na indústria civil para o transporte de pedras ou outros detritos. Outra aplicação é o bombeamento de água de fundações.

O combustível de um veículo geralmente é circulado graças a uma bomba deste tipo. O diafragma é movido mecanicamente por um excêntrico na sucção e retorna devido a ação de uma mola. A mola determina a pressão de descarga e proporciona uma pressão constante para o carburador (ou a injeção eletrônica).

- Diafragma operado hidraulicamente

Esse tipo de bomba pode trabalhar em altas pressões desde que a carga aplicada no diafragma seja balanceada pelas forças hidráulicas. Elas são mais precisas e podem ter a pressão de saída ajustável.

Sua utilização abrange medições e dosagens. Os principais mercados para uma bomba de diafragma operada hidráulicamente inclui transporte de água e de dejetos de fábricas ou processos químicos, indústria de papel e celulose e petroquímicas. Os fluidos mais freqüentemente transportados são fosfato, ácidos, alumínio, clorados, solventes cáusticos e acetatos.

- Diafragma operado pneumaticamente

As bombas de diafragma podem ser projetadas para funcionarem diretamente com uma alimentação de ar comprimido através de uma válvula solenóide (Figura 6). A válvula alternará a entrada do ar conforme for o ajuste do timer. Dessa maneira pode ajustar e alterar, por exemplo, a dosagem de um produto químico em um tanque, conseguindo excelentes precisão.

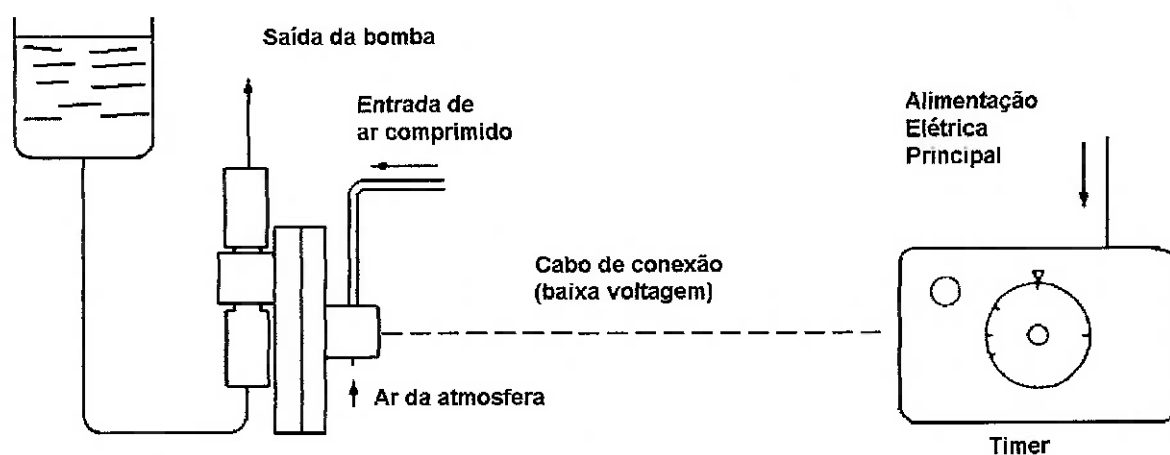


Fig. 6 Esquema da bomba de diafragma operada pneumaticamente

Os modelos mais utilizados são os de duplo diafragma. Estas são constituídas de dois diafragmas conectados por uma haste interna, um corpo central e dois manifolds. Por manifold entende-se uma tubulação com uma entrada ou saída externa, onde se passa um fluido. Cada bomba tem um par de válvulas de não-retorno interpostas entre as câmaras de produto e os manifolds, e uma câmara de ar anexada ao corpo central. A válvula que controla a taxa de ar de entrada e, conseqüentemente, a performance da bomba é geralmente anexada a montagem central, da onde o ar utilizado é expulso para a atmosfera.

A montagem central contém uma passagem para a admissão do ar comprimido em uma câmara, e permite que o ar usado passe para a outra câmara. Esse processo é revertido automaticamente quando os componentes recíprocos, isto é, os que atuam para inverter a posição, alcançam alguma posição relativa pré definida. Existem vários métodos para realizar esse processo, entretanto na maioria dos casos uma válvula de retenção é empregada e sua posição é definida pela posição da haste da bomba. O chaveamento é sempre alcançado pneumáticamente através das passagens de ar interceptadas pelas válvulas existentes ao redor da haste da bomba.

Nas figuras 7 e 7a pode-se observar que quando a bomba está trabalhando, a admissão de ar da câmara A tem dois efeitos: isto diminui o volume da câmara A enquanto aumenta o volume da câmara B. Esta mudança de volume ocorre devido a força axial criada pelo de ar comprimido que excede

a força proveniente da pressão do produto, do atrito interno da bomba e da pressão do ar proveniente da câmara B.

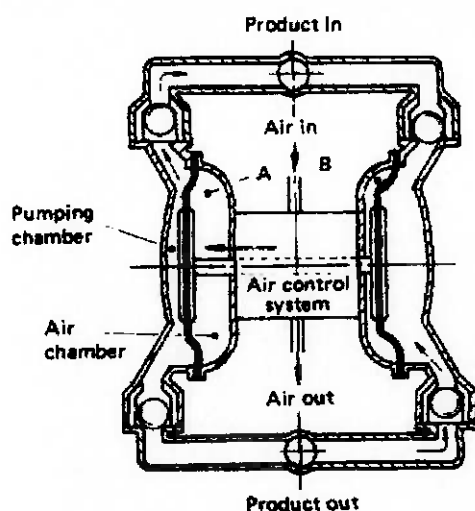


Fig. 7

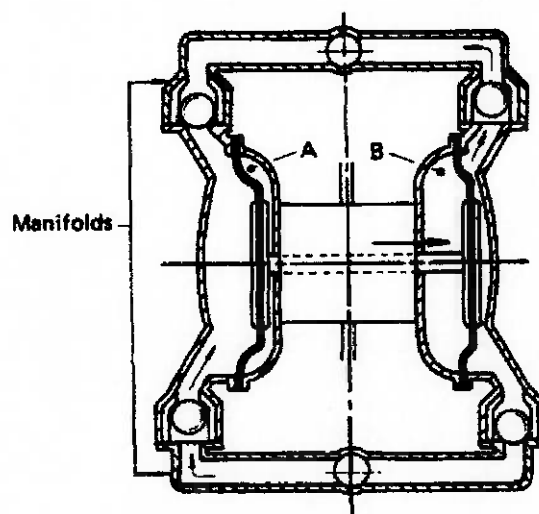


Fig. 7a

A figura 8 mostra que o ciclo básico de deslocamento é composto de duas componentes essencialmente de uma onda quadrada. Porém deve-se perceber que para isso ocorrer na prática, cada pulso deveria somente ocorrer quando a bomba está levemente carregada e funcionando relativamente devagar. Quando estas condições não ocorrerem e uma alta pressão de ar tem que ser admitida e transferida para as câmaras, uma pressão transiente ocorrerá e criará pulsos de fluxos definidos.

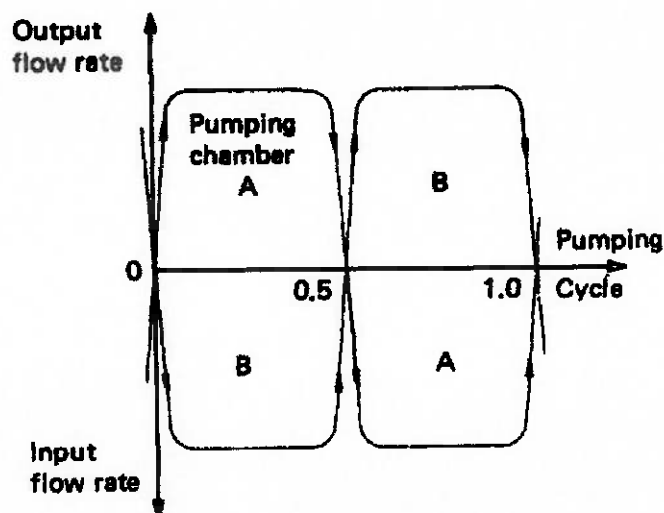


Fig. 8 Gráfico do Fluxo x Ciclo.

Embora o termo “diafragma balanceado” é às vezes associado a estas máquinas, as condições de um balanço de pressão em cada cabeçote da bomba é somente aproximado durante metade de um ciclo, ou melhor, durante a descarga.

Na entrada, a pressão gerada pelo produto sobre o diafragma é excessiva, o que causa uma fadiga sobre o material, limitando-se assim seu tempo de vida.

Ao contrário das bombas operadas mecanicamente, este tipo de bombas não apresenta problemas em sistemas fechados. Sob estas circunstâncias a pressão do produto será limitada pela pressão do ar.

Duas versões de bombas de duplo diafragma operadas pneumaticamente são mostradas na figura 9, ambas desenvolvidas para acomodar as propriedades físicas do Teflon PTFE para os diafragmas e válvulas esfera. Cada uma possui duas câmaras com os diafragmas acoplados através de uma haste comum, formando o efeito de um cilindro pneumático. A haste é movimentada pelo ar comprimido pilotado por uma válvula de retenção,

formando um efeito oscilatório. A velocidade, e consequentemente a pressão de saída, vai de zero até o máximo, controlados pelo ajuste dessa via de ar comprimido.

Outra concepção é demonstrada na figura 6. Nesse tipo de bomba o fluido desloca-se pelo centro da bomba entre os diafragmas. A tubulação de entrada e saída são protegidas pelo corpo da bomba e o sistema de ar alimenta a bomba com sinais de alimentação, quando operada a partir de uma válvula de ar adjunta, permitindo o início da operação automático. Não há risco de posições intermediárias e a bomba atuará na mesma pressão do ar comprimido.

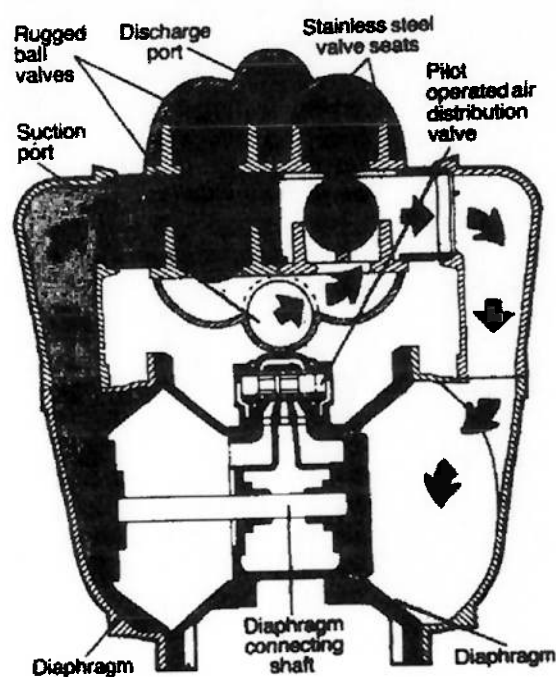
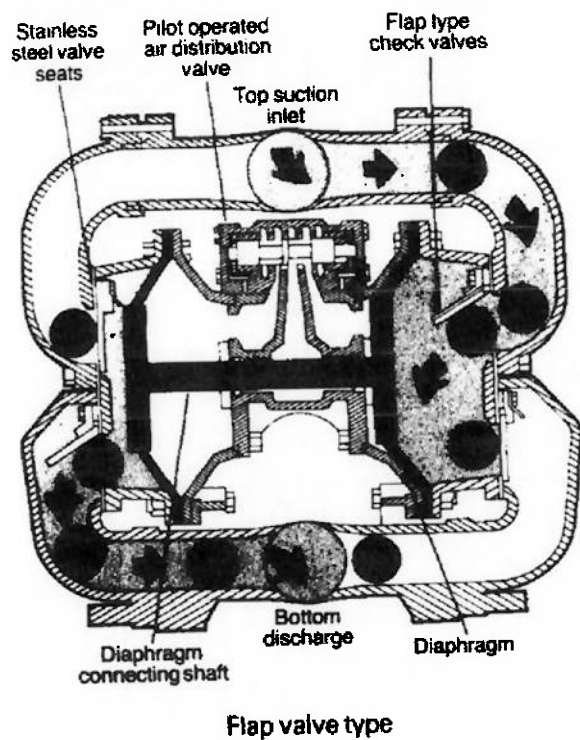


Fig. 9. Comparativo de bombas pneumáticas

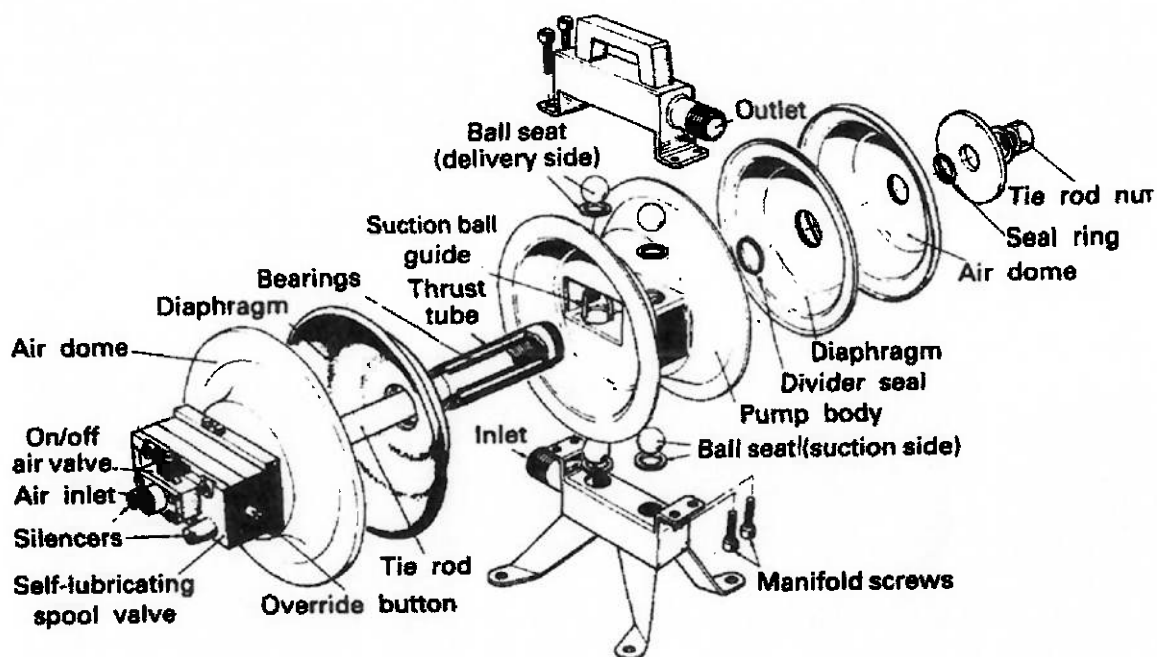


Fig. 10 Vista explodida

As bombas de duplo diafragma tem sucesso comprovado nas indústrias químicas, farmacêuticas, de alimentos e bebidas e podem bombear qualquer produto, desde ácidos à adesivos, cosméticos à cerâmicas, petroquímicos à celulose e solventes à sólidos em suspensão.

- Diafragma operado eletromagneticamente

São limitadas em tamanho e usadas especificadamente para medições, proporções e dosagens utilizando em conjunto um controlador eletrônico digital. Neste caso, o diafragma é movimentado pela ação de um eletroímã, que é energizado pelos pulsos da corrente elétrica.

3.2.2. Algumas aplicações da bomba de diafragma pneumática.

Tabela 1 – Algumas aplicações para a bomba de duplo diafragma operada pneumaticamente

Líquidos: de águas à pastas, também fluídos sensíveis á cisalhamento, abrasivos e corrosivos, misturas de gás-líquido.	
Indústrias químicas	Ácidos, solventes, licores, corantes, resinas, pigmentos, latex, dejetos, cremes
Refinarias, cosméticos, petroquímicas, cerâmicas	Óleo, lodo, tanques de limpeza, cerâmica e porcelana, vernizes, cerâmicas coloridas.
Indústrias de alimentos	Marmelada , chocolate, laticínios, comida animal, sangue, ketchup, yogurt.
Cervejarias, vinícolas, construção naval, marinas	Leveduras, lavagem de tanques, limpeza de navios, concreto, areia, pedras, lubrificação de esteiras, aditivos.
Mineração, brigada de incêndio, serviços municipais, metalurgia, engenharia mecânica	Drenagem, transporte de detritos, lodo, detritos metálicos, hidróxidos e carbonetos.
Indústria têxtil, Indústria de celulose, proteção ambiental	Latex, papel e celulose, aditivos, lama.
Medicina	Plasma sangüíneo
Nuclear	Líquidos contaminados
Tecnologia aeroespacial	Refugos de satélite
Bio tecnologia	Produtos esterilizados
Aviação	Combustível de helicóptero, esvaziamento de tanques
Poeiras de baixa densidade e micropartículas	Fumaça, carbono ativo, sujeira de filtros, vários tipos de pós de plásticos, óxido de alumínio, alguns herbicidas

3.2.3. Materiais dos componentes

O material do diafragma é um elastômero escolhido conforme o fluido manuseado. As combinações entre as bombas e o material do diafragma são suficientes para cobrir a larga faixa de produtos existentes. Para alguns solventes, ácidos e alcalinos agressivo, os diafragmas de Teflon PTFE podem ser utilizados diretamente ou servindo de proteção para um diafragma comum.

O tempo de vida das bombas de diafragma depende de uma série de parâmetros e influências. Geralmente, a resistência dos diafragmas de PTFE são maiores e mais confiáveis do que as dos metais. Diafragmas operados hidraulicamente tendem a mostrar melhor resistência do que a dos operados mecanicamente. Esses são restritos a baixa pressão (20 bar), e tanto a bomba quanto o diafragma são submetidos simultaneamente a diferentes esforços e pressões. Já as bombas operadas hidraulicamente sofrem somente a ação da deflexão, pois existe um equilíbrio de pressão em ambos os lados do diafragma.

Quando a bomba é utilizada para transportar produtos abrasivos, as válvulas geralmente são protegidas por elastômeros ou as esferas são feitas desse material. As válvulas esfera de maior porte possuem uma espessa parede de borracha sintética, ou sua esfera é feita de borracha sólida. Outros materiais utilizados são o vidro e ebonite.

3.2.4. Seleção do melhor diafragma para uma bomba de diafragma pneumática

Através de testes de diferentes diafragmas, obtém-se uma tabela [3] que auxilia na escolha do material. Os testes genericamente submetem os diafragmas à fadiga, sem contar com os efeitos da corrosão e da abrasão.

As aplicações dos principais materiais são as seguintes:

a. Componentes de borracha:

Esses componentes são de borracha natural, com alguns aditivos para melhorar suas características, como a resistência para alguns tipos de fluidos

- Neoprene: excelente para aplicações com materiais não agressivos, como água de poço artesiano ou água do mar. Apresenta longa vida de operação e baixo custo.
 - Buna-N: ótimo desempenho em aplicações envolvendo petróleo e derivados, como gasolina, querosene, óleo de motores e óleos não sintéticos. Apresenta longa vida de operação.
 - Nordel: excelentes para aplicações envolvendo baixas temperaturas. Pode também ser usado como alternativa barata em processos envolvendo diluição de ácidos ou bases.
 - Viton: melhor opção para aplicações em alta temperatura. Pode também ser usado com fluidos agressivos como aromáticos, hidrocarbonetos clorados e ácidos fortes.
-

b. Componentes termoplásticos:

São confeccionados inteiramente com substâncias artificiais.

- Poliuretano: para aplicações onde o fluido não é agressivo. Este material apresenta excelente durabilidade e custo baixo.
- Will-Flex: excelente alternativa para o Teflon em muitos casos envolvendo ácidos e bases, como hidróxido de sódio, ácido sulfúrico ou ácidos clorados. Exibe ótima resistência à abrasão e durabilidade, com um custo comparável ao do Neoprene.
- Saniflex: ótima resistência à abrasão, elasticidade e durabilidade. É aprovado para ser usado em processos envolvendo alimentos.

c. Componentes de Teflon

Esse tipo de material é o mais inerte quimicamente. O Teflon não é o material elástico, entretanto os diafragmas de Teflon possuem um diafragma adjunto para permitir flexibilidade.

- Teflon PTFE: excelente opção para fluidos altamente agressivos como aromáticos, hidrocarbonetos clorados, ácidos, cáusticos e acetatos. Exibe boa durabilidade comparado com um diafragma de borracha comum.

Tabela 2 - Limites de temperatura no material do diafragma

Material do diafragma	Limites de temperatura (1)	
	Mínimo	Máximo
Wil-flex	-40°C	107°C
Poliuretano	-12°C	65°C
Saniflex (2)	-29°C	104°C
Neoprene	-17°C	93°C
Nordel	-51°C	138°C
Buna-N	-12°C	82°C
Viton	-40°C	176°C
Teflon PTFE (3)	4°C	104°C

Tabela 3 - Limites de temperatura no material do corpo da bomba

Material do corpo	Limites de temperatura (1)	
	Mínimo	Máximo
Polipropileno	0°C	65°C
PVDF(Kynar)	-12°C	107°C
Teflon PFA	-28°C	107°C
Acetal	-18°C	93°C

Notas

- (1) Certos produtos aumentam muito sua agressividade a determinados materiais acima de uma certa temperatura e só podem ser bombeados quando dentro de uma faixa de temperatura mais estreita que a indicada acima.
- (2) Pode trabalhar com temperaturas de até 148°C esporadicamente.
- (3) Em alguns tipos de bomba pode trabalhar até 148°C.

3.2.5. Vantagens da Bomba de Diafragma

As vantagens das bombas de diafragma são as seguintes:

- i) podem ser iniciadas operando à seco;
- ii) infinitas variações de pressão;
- iii) não é selada ou embalada;
- iv) podem funcionar à seco;
- v) descarga pode ser ajustada do zero ao infinito;
- vi) explosões somente por um acaso ambiental;
- vii) energia usada é proporcional a taxa de pressão;
- viii) podem ser utilizada em áreas confinadas, pois não há aquecimento;
- ix) podem bombear produtos abrasivos e sólidos em suspensão;
- x) podem bombear líquidos viscosos de até 11.000 cSt
- xi) podem bombear os fluidos sem grandes turbulações;
- xii) podem bombear pós secos em suspensão;
- xiii) nenhuma parte rotativa entra contato com o fluido;
- xiv) não é necessário by-pass como em outras bombas de deslocamento;
- xv) não há vazamento
- xvi) simples manutenção e reparo.

3.2.6. Fatores Operacionais

Os fatores necessários para se fazer uma análise do desempenho de uma bomba de diafragma pneumática são os seguintes:

- Densidade
- Viscosidade
- Demanda de ar comprimido
- Pressão de ar comprimido
- Altura manométrica de envio
- Altura manométrica de sucção

Cada um destes itens será levado em consideração na próxima etapa do trabalho, onde serão levantadas curvas que ajudaram a estudar o comportamento das bombas estudadas.

4. DADOS OBTIDOS NO ESTUDO DAS BOMBAS

4.1. Método de análise

Os dados para a construção das curvas das bombas peristálticas e pneumáticas foram realizadas na DiverseyLever, divisão da Indústrias Gessy Lever, cuja fábrica localiza-se em São Paulo, no Largo do Socorro.

Utilizando-se as instalações locais (ponto de água e ar comprimido) e com o material cedido pela empresa para a realização dos testes, que foram realizados do seguinte modo:

4.1.1. Bombas peristálticas:

Instalou-se uma válvula esfera na saída da bomba para restringir a passagem de fluido, simulando uma perda de carga. Nesse equipamento constava também um manômetro, que media a pressão de saída. A figura a seguir mostra como esse equipamento foi instalado na bomba.

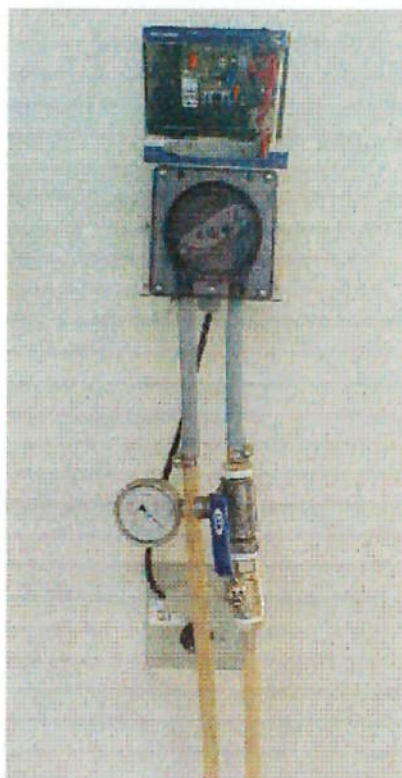


Fig. 11 Instalação da válvula esfera na saída da bomba.

Mediu-se também a corrente de entrada nos equipamento com a finalidade de se obter a potência nas diferentes pressões:



Figura 12 Teste de potência

4.1.2. Bombas Pneumáticas com Duplo Diafragma:

Concept

O controle da dosagem dessas bombas pode ser feito através de ajustes manuais ou por medidores de vazão que medem o fluxo da linha na qual será feita a dosagem do produto e emitem um pulso a cada determinada quantidade de água que passa pela linha, sendo a dosagem feita conforme os ajustes efetuados nos controles do painel frontal da bomba.

A bomba Concept, no seu painel frontal, possui uma escala circular na qual é regulado o deslocamento do diafragma, que determina o volume a ser dosado em cada stroke (pulso), variando de 0 a 100%. Uma chave seletora de 3 posições, que determina a velocidade de funcionamento da bomba da seguinte forma:

posição I – acionamento externo: a cada pulso recebido do medidor de vazão, é acionado um stroke da bomba;

posição II – velocidade média: a bomba funcionará com a velocidade de 60 strokes por minuto, correspondente a 50% de sua capacidade máxima;

posição III – velocidade total: a bomba funcionará com a velocidade de 120 strokes por minuto, correspondente a 100% de sua velocidade máxima.

A posição escolhida para obter os dados da curva foi a posição II (60 strokes/min), com o volume da câmara mínimo de 30%, pois o uso mais freqüente dessa bomba no campo (linhas de lubrificação de esteira de transporte de garrafas) utiliza essa configuração. Assim sendo, obteve-se os dados de forma similar ao teste realizado com as bombas peristálticas para a obtenção dos dados necessários para o levantamento das curvas.

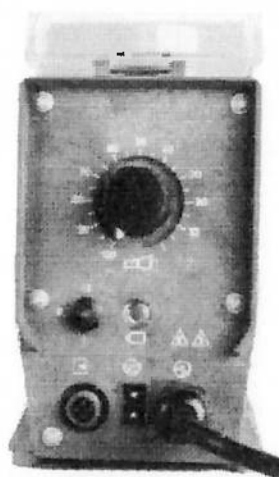


Figura 13 Painel frontal da Concept

M 0,25 c/ solenóide

As bombas pneumáticas são acionadas por ar comprimido. A válvula piloto e a válvula direcional do ar estão localizadas no bloco central da bomba e que, através de um pistão acionam alternadamente dois diafragmas em sua câmara de bombeamento. O movimento do diafragma, combinado com a abertura e fechamento das válvulas, movimenta o fluido dentro das câmaras que, conectadas, permitem de um lado a sucção e do outro o recalque.

A vazão do líquido a ser bombeado é controlada variando-se a alimentação do ar comprimido, que varia de zero até a máxima capacidade do modelo.

As bombas possuem em sua parte frontal um orifício, no qual deve ser instalada através de um espigão a mangueira de sucção do produto. Na parte superior, possui um orifício no qual deve ser instalada através de um espigão a mangueira de recalque do produto, e na parte traseira, um conector no qual ligamos a alimentação do ar comprimido.

Para obter as curvas utilizou-se uma entrada de ar de 2 bar, comum nas instalações nas quais esse modelo tem sido mais requisitado.

5. DADOS

Os dados abaixo foram obtidos através do procedimento descrito no item anterior e através das formulas abaixo:

$$N_{b \rightarrow f} = \frac{\gamma Q H}{75} \quad \text{potência da bomba para o fluido (unidade: CV)}$$

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} \quad \text{vazão (unidade: m}^3/\text{s)}$$

$$H_m = M_s + M_r \quad \text{altura manométrica (unidade: m)}$$

onde:

M_s = altura de sucção

M_r = leitura no manômetro

Com esses dados montou-se as seguintes tabelas:

	Mr	Ms		Hm	Vol	t	Q	I	P	Nb	n
	mH ₂ O	bar	mH ₂ O	m	l	s	E-6 m ³ /s	A	1 e-2 cv	1e-2 cv	%
1	1,25	0,00	0,00	1,3	0,5	28,41	17,60	1,14	3,73	0,29	7,71
2	1,25	0,25	2,55	3,8	0,5	32,13	15,56	1,06	3,47	0,77	22,26
3	1,25	0,50	5,10	6,4	0,5	33,86	14,77	1,20	3,92	1,23	31,27
4	1,25	0,75	7,66	8,9	0,5	35,84	13,95	1,31	4,27	1,62	38,04
5	1,25	1,00	10,21	11,5	0,5	38,32	13,05	1,35	4,41	1,95	44,34
6	1,25	1,25	12,76	14,0	0,5	40,48	12,35	1,43	4,68	2,26	48,36
7	1,25	1,50	15,31	16,6	0,5	45,74	10,93	1,47	4,80	2,37	49,25
8	1,25	1,75	17,87	19,1	0,5	48,03	10,41	1,51	4,92	2,75	49,58
9	1,25	2,00	20,42	21,7	0,5	53,90	9,28	1,58	5,15	3,15	50,29
10	1,25	2,25	22,97	24,2	0,5	64,42	7,76	1,67	5,45	3,67	51,25

Tabela 4 Dados obtidos da bomba Clax Br

	Mr	Ms		Hm	Vol	t	Q	I	P	Nb	n
	mH ₂ O	bar	mH ₂ O	m	l	s	E-6 m ³ /s	A	1 e-2 cv	1e-2 cv	%
1	1,25	0,00	0,00	1,3	0,1	6,84	14,62	1,14	4,20	0,24	5,68
2	1,25	0,25	2,55	3,8	0,1	7,05	14,17	1,06	4,49	0,70	15,69
3	1,25	0,50	5,10	6,4	0,1	7,29	13,73	1,20	4,50	1,14	25,31
4	1,25	0,75	7,66	8,9	0,1	7,52	13,30	1,31	4,59	1,55	33,74
5	1,25	1,00	10,21	11,5	0,1	7,86	12,73	1,35	5,06	1,91	37,63
6	1,25	1,25	12,76	14,0	0,1	8,28	12,08	1,43	5,09	2,21	43,45
7	1,25	1,50	15,31	16,6	0,1	8,87	11,28	1,47	5,54	2,44	44,07
8	1,25	1,75	17,87	19,1	0,1	8,78	11,39	1,67	5,44	2,61	43,98
9	1,25	2,00	20,42	21,7	0,1	9,33	10,72	1,75	5,70	3,05	44,51
10	1,25	2,25	22,97	24,2	0,1	10,45	9,57	1,88	6,14	3,81	45,41

Tabela 5 Dados obtidos da bomba L2000

	Mr	Ms		Hm	Vol	t	Q	Par	Nb	n
	mH ₂ O	bar	mH ₂ O	m	l	s	E-6 m ³ /s	1 e-2 cv	1 e-2 cv	%
1	1,25	0,25	2,55	3,8	1	7,05	141,82	70,51	7,05	9,99
2	1,25	0,40	4,08	5,3	1	7,32	136,52	60,65	9,51	15,69
3	1,25	0,50	5,10	6,4	1	8,14	122,81	40,28	10,20	25,31
4	1,25	0,60	6,13	7,4	1	8,38	119,36	34,09	11,50	33,74
5	1,25	0,75	7,66	8,9	1	9,13	109,58	33,89	12,75	37,63
6	1,25	1,00	10,21	11,5	1	11,06	90,38	31,15	13,53	43,45
7	1,25	1,10	11,23	12,5	1	12,03	83,14	30,76	13,56	44,07
8	1,25	1,25	12,76	14,0	1	13,98	71,55	29,78	13,10	43,98
9	1,25	1,50	15,31	16,6	1	18,28	54,71	26,60	11,84	44,51
10	1,25	1,75	17,87	19,1	1	27,19	36,78	20,23	9,19	45,41
11	1,25	2,00	20,42	21,7	1	56,86	17,59	15,00	4,98	33,20

Tabela 6 Dados obtidos da bomba Concept

	Mr	Ms		Hm	Vol	t	Q	Par	Nb	n
	mH ₂ O	bar	mH ₂ O	m	l	s	E-6 m ³ /s	1 e-2 cv	1 e-2 cv	%
1	1,25	0,25	2,55	3,8	5	24,14	207,09	100,00	10,29	10,29
2	1,25	0,40	4,08	5,3	5	24,87	201,02	88,00	14,01	15,92
3	1,25	0,50	5,10	6,4	5	25,69	194,63	78,47	16,16	20,59
4	1,25	0,60	6,13	7,4	5	27,10	184,53	76,00	17,78	23,40
5	1,25	0,75	7,66	8,9	5	28,02	178,44	71,12	20,77	29,20
6	1,25	1,00	10,21	11,5	5	30,90	161,82	66,20	24,23	36,60
7	1,25	1,10	11,23	12,5	5	30,36	164,68	68,05	26,85	39,46
8	1,25	1,25	12,76	14,0	5	32,59	153,40	64,15	28,08	43,78
9	1,25	1,50	15,31	16,6	5	35,72	139,98	61,00	30,30	49,67
10	1,25	1,75	17,87	19,1	5	39,12	127,83	62,00	31,93	51,50
11	1,25	2,00	20,42	21,7	5	44,64	112,01	54,00	31,71	58,73

Tabela 7 Dados obtidos da bomba M 0.25

6. CURVAS LEVANTADAS

A partir das tabelas do item anterior, obteve-se os seguintes gráficos:

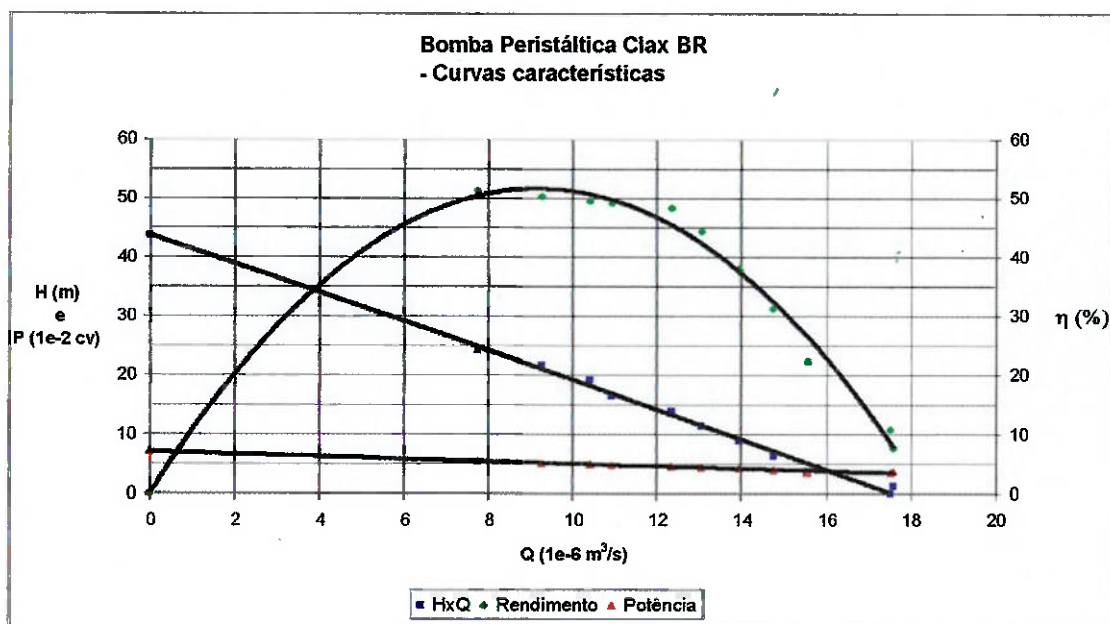


Figura 13 Gráfico Clax Br

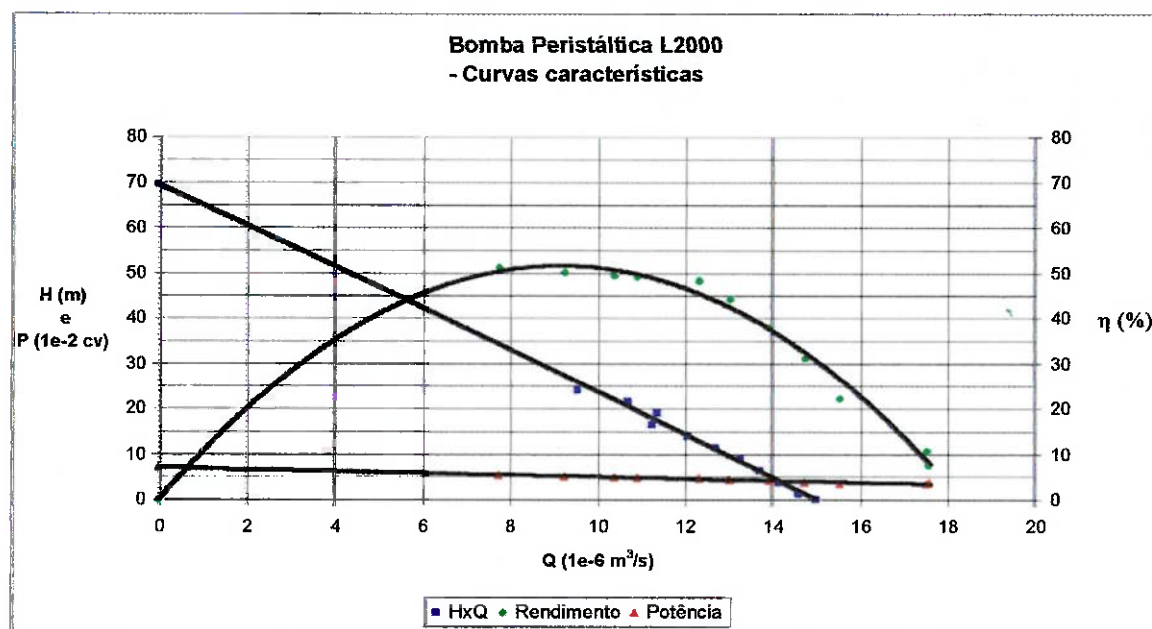


Figura 14 Gráfico L 2000

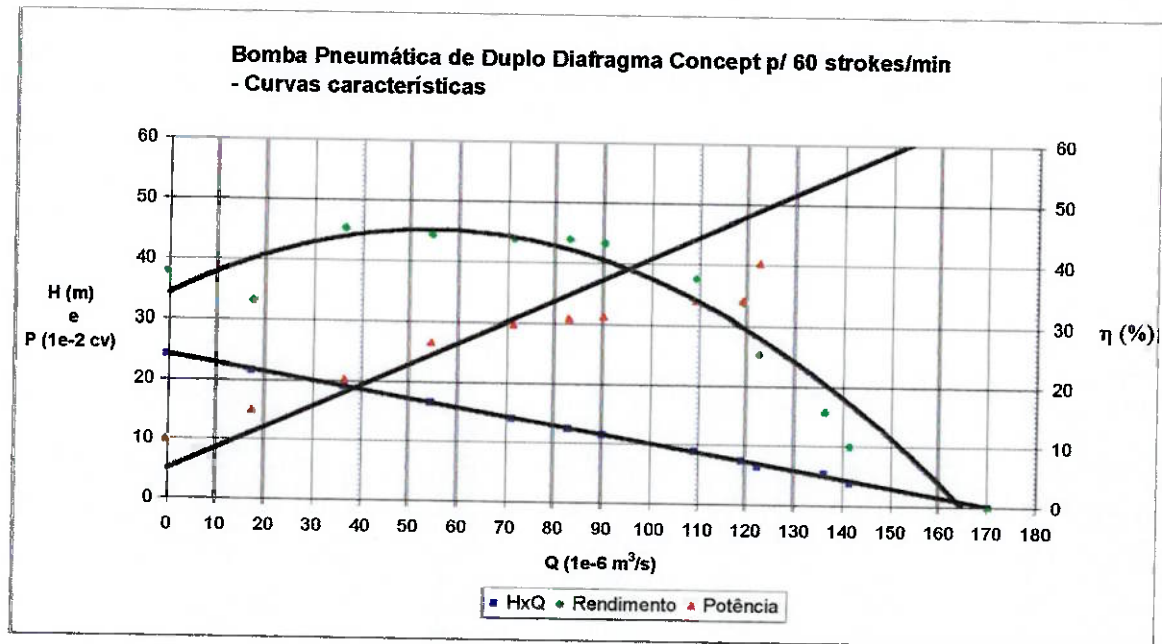


Figura 14 Gráfico Concept

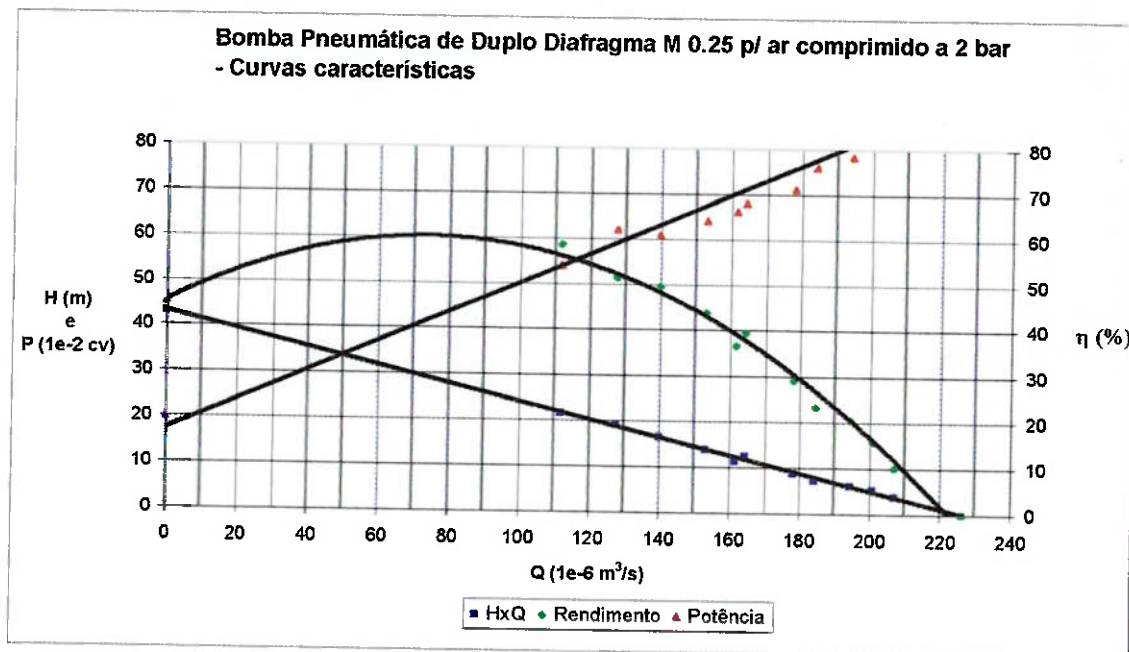


Figura 15 Gráfico M 0.25

7. EXEMPLO PRÁTICO

Schincariol - Itu

A dosagem de aditivos em uma lavadora de garrafas é realizada por uma bomba controlada por um PLC. Através de um sensor eletromagnético, o PLC detecta a concentração de químico existente no tanque, e, se essa não corresponde a configurada no PLC, este ativa uma bomba para transportar aditivo da bombona para o tanque.

Tem-se então duas opções: uma bomba peristáltica como a PC1000 ou uma bomba pneumática de duplo diafragma, como a Concept.

Como experiência pode-se citar a instalação na fábrica da Schincariol de Itu, Primeiro utilizou-se uma bomba PC1000 para a dosagem. O ponto negativo desta bomba é que o Silastic tem uma vida útil de somente três meses nessas condição de uso (fluido ácido, alta temperatura ambiente). Além disso, com o passar do tempo, o Silastic vai se deformando, o que altera a vazão do fluido, já que o PLC controla a bomba por tempo de dosagem.

A bomba Concept foi adotada para essa instalação há aproximadamente um ano e meio. Não foi necessário fazer nenhuma manutenção nesta, e a vazão da bomba continua sem alteração, já que o diafragma da bomba não sofre com as condições ambientes.

Pode-se fazer uma comparação em termos financeiros (valores aproximados):

	CLAX BR	Concept
Custo (R\$)	230,00	600,00
Manutenção em 18 meses	6	0
Custo da manutenção (por hora) (R\$)	45,00	45,00
Preço de peças	11,00 (Silastic)	0
Custo total	566,00	600,00

Tabela 8 Comparação entre bombas

Apesar de ainda ser mais caro a utilização da bomba Concept, deve-se levar em consideração que a deformação do tubo Silastic causará, como já mencionado, um aumento da vazão de produto. Portanto é necessário considerar também um excesso de produto no tanque ao final da vida de cada tubo.

Por esse exemplo concluiu-se que para Lavadoras de Garrafas o uso de uma bomba pneumática de duplo diafragma, como a Concept, é mais recomendado que o uso de uma bomba peristáltica, como a CLAX BR.

Análise pelas ferramentas obtidas

Analisando o caso com o auxílio dos gráficos obtidos no item anterior, percebe-se que a decisão tomada pela empresa empiricamente de se substituir a bomba peristáltica Clax BR por uma de duplo diafragma Concept, se mostrou acertada. Além dos fatores já mencionados, nota-se pela análise dos gráficos que para a área de atuação do sistema analisado (vazão em torno de $16 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) o rendimento da bomba Clax Br se encontra em torno de 25% ao passo

que a bomba Concept apresenta um rendimento de cerca de 40%. Além do mais a bomba Concept, embora exija uma maior potência, esta possui uma carga manométrica maior na faixa de atuação, o que possibilita uma linha com maior pressão, fator importante no sistema analisado.

8. CONCLUSÃO

A proposta inicial deste projeto era possibilitar a análise da performance de dois tipos de bombas: peristáltica e pneumática de duplo diafragma e com os dados obtidos dispor de uma ferramenta de seleção de bombas que abrange-se uma área de atuação de interesse para a empresas de higiene industrial.

Nesse sentido as curvas características de quatro tipos genéricos de bombas (duas peristáltica e duas pneumáticas) obtidas se mostraram eficientes, tanto para a análise individual do funcionamento de cada bomba como para a análise comparativa entre cada tipo de bomba e cada bomba. A análise de caso mostrou que o método de fato funciona para as aplicações estudadas, e com a experiência obtida junto a empresa que atua no ramo de higiene industrial foi possível sintetizar os dados obtidos em dois gráficos comparativos que seguem abaixo:

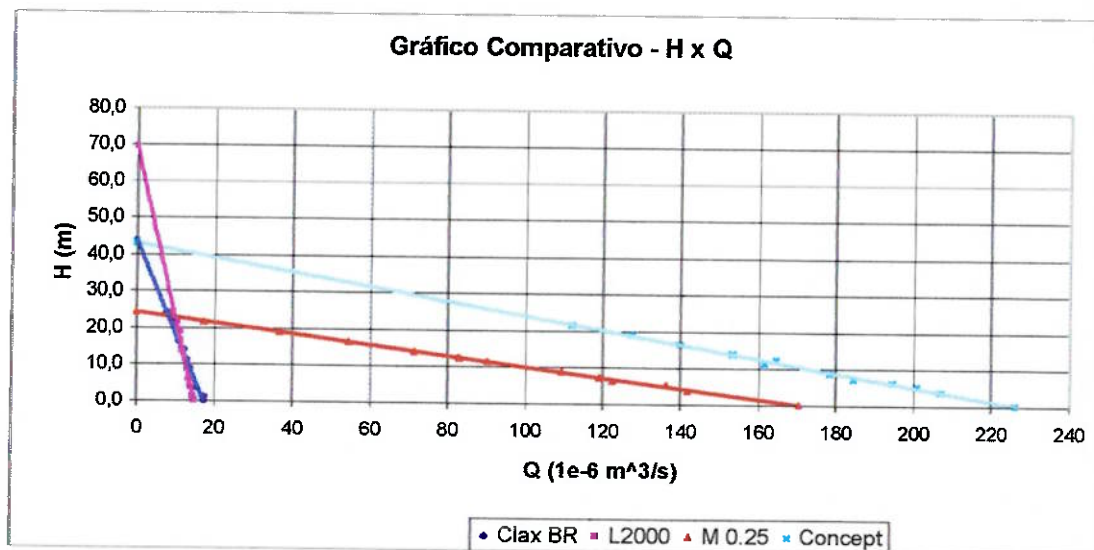


Figura 16 Gráfico comparativo H x Q

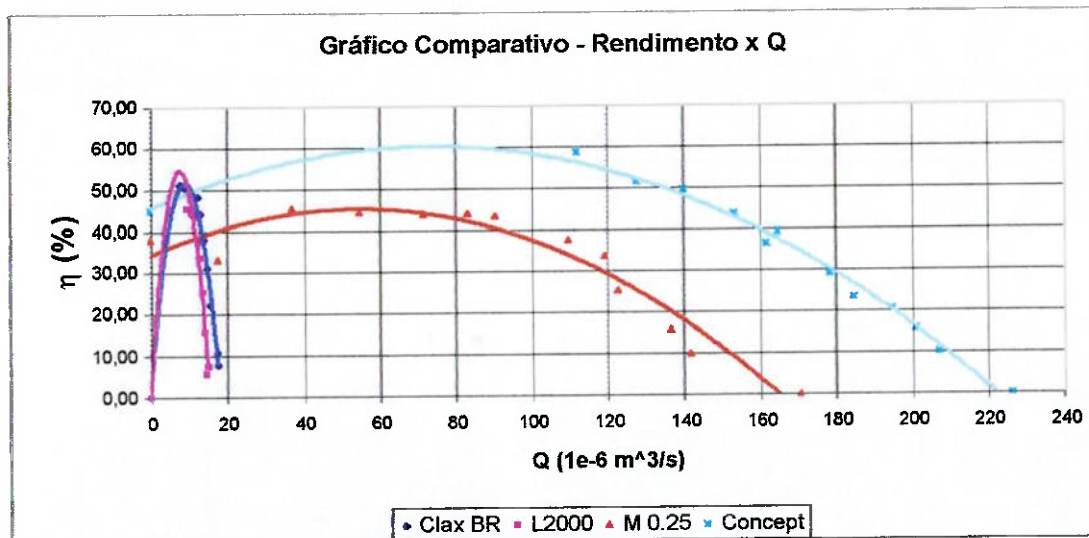


Figura 16 Gráfico comparativo H x Q

Se os gráficos vistos anteriormente analisam o funcionamento individual de cada bomba, os gráficos apresentados nesse item sintetizam de forma comparativa as características mais procuradas por clientes e mais desejadas em projetos da engenharia.

Tendo sido colocado em prática por técnicos da empresa e aprovada, a ferramenta se mostrou adequado e por conseguinte, o projeto alcançou o seu objetivo primordial.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dickenson, T.C. **Pumping Manual**. Inglaterra, 1995.
 - [2] Manual de instalação, operação, manutenção e troubleshooting - Bombas de diafragma pneumático Wilden. Versão 03/96.
 - [3] Chemical Resistance Guide – Wilden
 - [4] Catálogos informativos Wilden
 - [5] Manual do usuário M.025-Wilden
 - [6] Manual do usuário P.025-Wilden
 - [7] Manual do usuário M.1-Wilden
 - [8] <http://www.watson-marlow.com>
 - [9] <http://www.pumppro.com>
 - [10] <http://www.bredel.com>
 - [11] <http://www.spectra-chrom.com/pump.htm>
 - [12] <http://www.masterflex.com>
 - [13] <http://www.lidi.co.uk/graphics/pulsation.htm>
 - [14] <http://www.pumps-directory.com/>
 - [15] http://www.flexicon.dk/peri_frame.htm
-