

O uso do tanque hidro pneumático na distribuição de água

HIDEO KUBOTA (1)
SABURO UEDA (2)

1. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo mostrar as vantagens que o sistema de abastecimento de água com tanque hidro pneumático pode oferecer, bem como introduzir o seu emprego na área de saneamento através da explanação dos conceitos básicos necessários para a sua aplicação.

Este sistema pode ser utilizado para abastecer diretamente prédios de apartamentos, escolas, fábricas, hotéis, *pequenas comunidades*, etc., porém, no Brasil o seu emprego ainda não está totalmente difundido.

Como veremos adiante, o emprego deste sistema trará grandes benefícios, principalmente nas regiões onde os recursos são restritos e requerem soluções rápidas. Mas, para que o seu emprego se torne viável é preciso que os fabricantes de bombas e as entidades que atuam na área de saneamento procurem desenvolver e adotar estes sistemas.

OBSERVAÇÕES:

a) Existem outros métodos de abastecimento direto ao consumidor, por exemplo, utilizando-se bombas de velocidade variável.

(1) Engenheiro da Divisão de Projetos Mecânicos — Diretoria de Construção da SABESP.

(2) Engenheiro Chefe de Divisão de Compras Técnicas — Diretoria Administrativa da SABESP.

b) O sistema proposto pode ser empregado juntamente com bombas de velocidade variável. O mesmo entrará em operação somente quando a demanda cair para um valor menor do que a vazão mínima recomendada para bomba de velocidade variável.

2. DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

Este sistema de abastecimento de água, é composto de um tanque hidro pneumático, bomba(s), painel de comando, equipamentos de controle e de proteção, formando um conjunto ou módulo compacto e automático para abastecimento de água pronto para ser instalado.

Estes módulos podem ser padronizados em função da demanda, pressões de operação e do número de partidas por hora permitida pelo motor elétrico.

A instalação destes módulos, depende da previsão futura da demanda, e poderá ser feita por etapas de tal forma que o módulo inicial atenda a primeira etapa e, na ocasião em que for ultrapassada a capacidade máxima prevista pelo módulo inicial, será instalado módulo complementar.

O objetivo fundamental do uso deste sistema é de equalizar a variação da demanda, manter a pressão na linha de distribuição dentro dos limites pré fixados, melhorar as condições de funcionamento do motor elétrico (partidas e paradas frequentes)

e visa, principalmente, eliminar os reservatórios elevados.

3. VANTAGENS DESTESISTEMA

Entre as principais vantagens que este sistema pode oferecer, temos:

a) elimina reservatórios elevados e, portanto, reduz o investimento global do sistema.

b) sendo uma unidade compacta, o espaço requerido para a sua instalação é reduzido.

c) é de fácil e rápida instalação.

d) o sistema pode ser facilmente transportado por meios comuns.

e) é de fácil manutenção.

f) sendo automático, pode reduzir ao mínimo o número de operadores.

Nos países onde este sistema é utilizado com freqüência, os módulos são padronizados e podem ser adquiridos facilmente, bastando para isso, fornecer ao fabricante as principais condições de funcionamento.

Podem ser encontradas, em São Paulo, algumas firmas especializadas neste ramo, que fabricam conjuntos já padronizados.

4. DEFINIÇÕES E CONCEITOS BÁSICOS

Como veremos a seguir, o bom funcionamento deste sistema, dependerá do dimensionamento criterioso do tanque hidro pneumático e de seus componentes de controle e de proteção.

4.1. DEFINIÇÕES

Serão adotadas as seguintes nomenclaturas e definições indicadas na figura 1, onde:

V_T = volume total do tanque hidro pneumático (THP)

V_1 = volume de água na condição de nível máximo, expresso em % do volume total do THP.

V_2 = volume de água na condição de nível mínimo, expresso em % do volume total do THP.

P_1 = pressão absoluta do ar no THP, na condição de nível máximo de água (esta pressão é pré estabelecida no projeto)

P_2 = pressão absoluta do ar no THP, na condição de nível mínimo de água (esta pressão é pré- estabelecida no projeto)

E_T = é a diferença entre os volumes V_1 e V_2 , expressa em % do volume total do THP. Pode-se verificar que este valor representa a capacidade de "armazenamento" e chamaremos de "Eficiência do Tanque Hidro Pneumático".

Q_b = vazão da bomba.

Q_d = vazão de demanda.

4.2. CONCEITOS BÁSICOS

4.2.1. Lei de Boyle e Mariotte

O dimensionamento propriamente dito do THP está baseado na Lei de Boyle e Mariotte para gases com massa e temperatura constantes.

Esta lei, como sabemos, pode ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \text{constante}$$

De acordo com as definições e nomenclaturas já mencionadas, podemos escrever que a eficiência do tanque (E_T) é:

$$E_T = V_1 - V_2 \quad 1$$

O volume de ar contido no THP, correspondente ao nível máximo de água, à pressão P_1 pré estabelecida, expresso em % do volume total do THP, será:

$$100 - V_1 \quad 2$$

O volume de ar contido no THP, correspondente ao nível mínimo de água, à pressão P_2 pré estabelecida, expresso em % do volume total do THP, será:

$$100 - V_2 \quad 3$$

Aplicando agora a lei de Boyle e Mariotte para as condições de níveis máximo e mínimo de água, teremos:

$$P_1 (100 - V_1) = P_2 (100 - V_2) =$$

= constante ou

$$V_2 = 100 - \frac{P_1}{P_2} (100 - V_1) \quad 4$$

Substituindo agora a equação 4 em 1, teremos:

$$E_T = V_1 - V_2 = V_1 - 100 + \frac{P_1}{P_2} (100 - V_1) \text{ ou}$$

$$E_T = (100 - V_1) \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad 5$$

Analisando esta última equação, podemos tirar as seguintes conclusões:

a) quanto maior a relação de P_1/P_2 , tanto maior é a eficiência do tanque (E_T).

b) quanto menor for o volume V_1 , tanto maior é a eficiência do tanque (E_T).

c) a eficiência do tanque (E_T) aumenta com o decréscimo do volume V_1 , mas deve estar dentro do limite $E_T < V_1$.

d) caso a eficiência do tanque (E_T) for igual ao volume V_1 , ocorrerá o arrastamento de ar do THP, para a linha de distribuição de água.

4.2.2. Ciclo de Funcionamento do Sistema

O Ciclo de funcionamento (duas partidas consecutivas) é função do volume total (V_T) do THP, da eficiência (E_T) do THP, da vazão da bomba (Q_b) e da demanda (Q_d).

A duração de cada ciclo de funcionamento (t), pode ser calculada como sendo a soma dos tempos de descarga (t_d) e de recarga do THP (t_r), ou seja:

$$t = t_d + t_r \quad 6$$

A fim de simplificar as deduções, consideramos que a demanda seja constante ($Q_d = \text{cte}$) e chamemos de x a relação entre Q_d/Q_b .

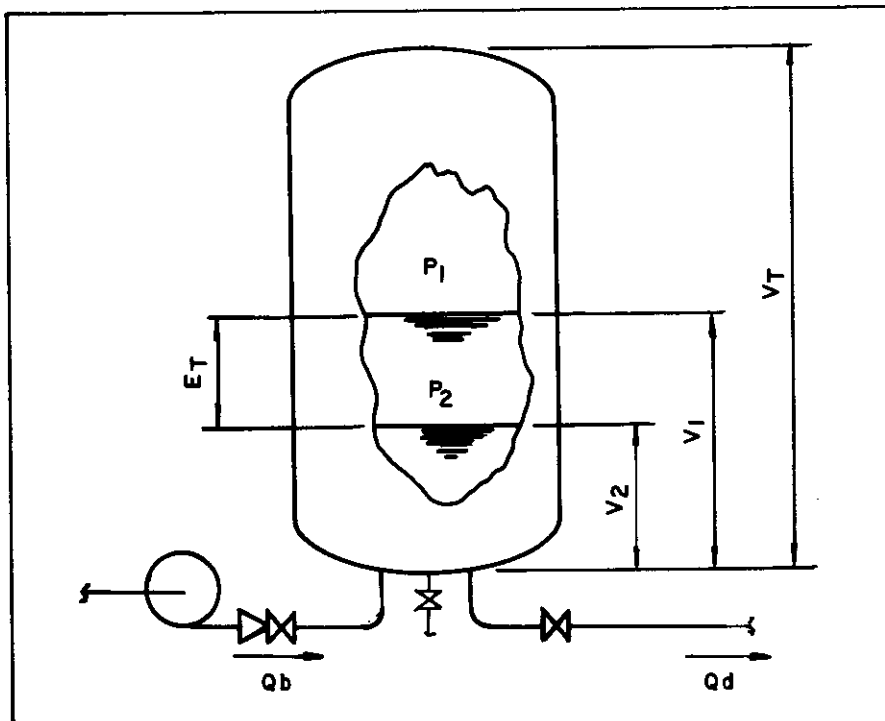


FIGURA 1 – Representação Esquemática do Tanque Hidro Pneumático

Teremos, então:

$$t_d = \frac{V_T E_T}{Q_b x} \quad \text{e} \quad t_r = \frac{V_T E_T}{Q_b (1-x)}$$

Substituindo os valores de t_d e t_r na equação 6 e simplificando, teremos:

$$t = \frac{V_T E_T}{Q_b x} + \frac{V_T E_T}{Q_b (1-x)} \quad \text{ou}$$

$$t = \frac{V_T E_T}{Q_b x} \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{1-x} \right) \quad \text{ou}$$

$$t = \frac{V_T E_T}{Q_b} \left(\frac{1}{x(1-x)} \right) \quad 7$$

4.2.3. - Tempo mínimo de um ciclo

Pode-se demonstrar que a duração de um ciclo é mínima quando a demanda for igual à metade da vazão da bomba ($Q_d = 0,5 Q_b$).

De fato, considerando que o volume total do THP (V_T), a eficiência do THP (E_T) e a vazão da bomba (Q_b) sejam constantes, derivando a equação 7 em relação a x , teremos:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{V_T E_T}{Q_b} \frac{2x - 1}{x^2 (1-x)^2}$$

O valor de t será mínimo quando $dt/dx = 0$, ou seja:

$$2x - 1 = 0 \quad \text{ou} \quad x = \frac{1}{2}$$

$$\frac{Q_d}{Q_b} = 0,5 \quad \text{ou} \quad Q_d = 0,5 Q_b$$

Substituindo o valor de x na equação 7, teremos o tempo mínimo (t_{\min}) de um ciclo:

$$t_{\min} = \frac{V_T E_T}{Q_b} \cdot \frac{1}{0,5 \cdot 0,5} \quad \text{ou}$$

$$t_{\min} = 4 \cdot \frac{V_T E_T}{Q_b} \quad 8$$

5. PRINCIPAIS ITENS A SEREM CONSIDERADOS NO PROJETO

Os principais itens que devem ser considerados no projeto de um sistema compacto de abastecimento automático de água com THP, são os seguintes:

- pressões de serviço.
- tipos de bombas.
- determinação dos níveis de água do THP.
- cálculo do volume total do THP.
- tipos de tanques hidro pneumáticos.
- sistemas de reabastecimento de ar.
- sistemas de controle.
- sistemas de operação.
- layout do conjunto e acessórios.

5.1. PRESSÕES DE SERVIÇO

Como sabemos, as pressões de serviço são controladas por diversos fatores.

Para a determinação da pressão mínima admissível num sistema de distribuição de água, deverão ser considerados, além das normas que as determinam, os fatores tais como layout do sistema de distribuição, topografia, etc.

Os fatores que controlam a máxima pressão admissível são a máxima pressão estática, topografia e a flutuação de pressão.

É importante observar que, normalmente, as pressões de serviço são determinadas da mesma forma como no sistema de distribuição por gravidade.

5.2. TIPOS DE BOMBAS

As bombas mais frequentemente utilizadas são do tipo centrífugo.

Na escolha da bomba, as seguintes recomendações básicas devem ser obedecidas:

a) a capacidade da bomba deverá ser ligeiramente superior à demanda máxima do sistema (valor de pico), pois se em qualquer instante a capacidade da bomba não for pelo menos igual à demanda do sistema, irá provocar a entrada de ar no sistema de distribuição, prejudicando o funcionamento do mesmo.

Recomenda-se a escolha de bombas com capacidade de 115% a 125% da demanda máxima.

b) a bomba deve ser capaz de operar dentro da variação de pressão do

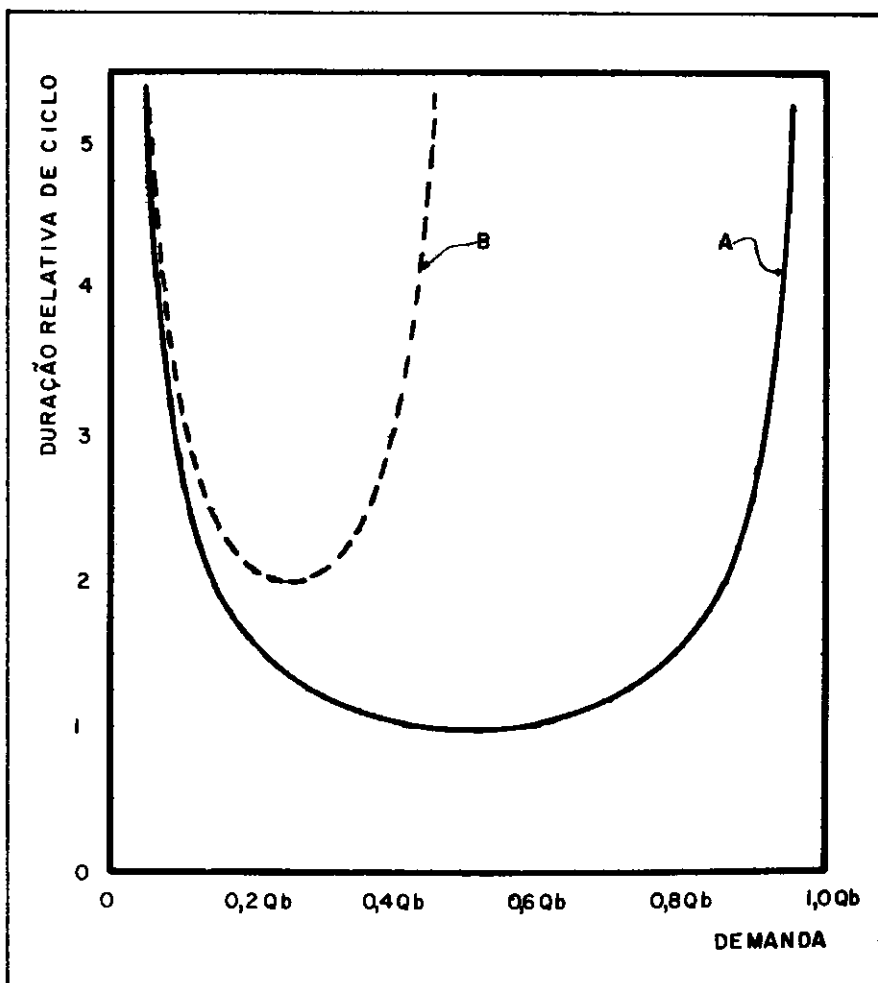


FIGURA 2 - Comparação de duração relativa de ciclos entre duas bombas de capacidades diferentes

sistema e na faixa de melhor rendimento.

Quando a variação da demanda é muito grande, recomenda-se empregar duas bombas, cada uma com capacidade para atender a metade da demanda máxima, com possibilidade de se operarem em paralelo no lugar de uma única bomba de capacidade maior.

Assim, quando a demanda é pequena, apenas uma delas estará em funcionamento e somente quando a demanda ultrapassar a capacidade da primeira bomba a segunda entrará em operação.

É recomendável manter, sempre que for possível, um conjunto motor bomba de reserva.

A vantagem do uso de duas bombas pode ser mostrada através da figura 2, elaborada a partir da equação 7.

A curva A representa uma única bomba de capacidade maior, ou duas bombas operando simultaneamente e em paralelo, cada uma com capacidade igual à metade da bomba grande.

A curva B representa uma bomba em operação com capacidade igual à metade da bomba grande.

Analisando a figura 2, pode-se notar que para valores de demanda menores do que $0,5 Q_b$, a duração de cada ciclo é maior para bomba de menor capacidade.

5.3. DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA DO THP

Os níveis de água no THP, devem ser determinados visando a maximização do volume utilizável ou, em outras palavras, a máxima eficiência (E_T).

Estes níveis podem ser determinados a partir da equação 5.

A fim de se evitar o arrastamento de ar do THP para o sistema de distribuição, deve-se manter uma diferença de 5% a 10% entre V_1 e E_T .

Para facilitar a resolução da equação 5, foi elaborado o gráfico da figura 3.

Lembramos que a porcentagem da capacidade de um tanque cilíndrico, varia proporcionalmente com a porcentagem de altura do tanque quando o mesmo é instalado na posição vertical. Entretanto, para montagens horizontais, a porcentagem da capacidade não varia proporcionalmente com o diâmetro.

A fim de facilitar estas conversões, nos casos em que os tanques são instalados na posição horizontal, apresentamos o gráfico da figura 4.

5.4. CÁLCULO DO VOLUME TOTAL DO THP

Para se calcular o volume total do THP, é preciso conhecer o número máximo de partidas por hora, permitido pelo motor. Este número deve ser obtido, sempre que for possível, do fabricante de motores elétricos.

Admitindo-se que o valor máximo de partidas por hora seja Z , o tempo mínimo (t_{min}) de cada ciclo será:

$$t_{min} = \frac{60}{Z} \quad (\text{em minutos})$$

Igualando esta equação com a de número 8, teremos:

$$\frac{60}{Z} = \frac{4 \cdot V_T \cdot E_T}{Q_b} \quad \text{ou} \quad \frac{15}{Z} = \frac{V_T \cdot E_T}{Q_b}$$

$$V_T = \frac{15}{Z \cdot E_T} \cdot Q_b$$

Para a determinação do volume V_T , foi elaborado o gráfico da figura 5, onde o valor do coeficiente de

multiplicação $15/Z \cdot E_T$, está em função da eficiência do tanque E_T para diversos valores de Z .

5.5. TIPOS DE THP

Existem basicamente dois tipos de THP. Um deles possui no seu interior, um balão ou uma membrana geralmente de neoprene, dividido o THP em dois compartimentos onde introduzimos num deles o ar ou nitrogênio a uma pressão pré-fixada. Geralmente, para tanques de até 1200 litros, pode-se usar THP deste tipo.

O outro tipo não possui nenhuma membrana de separação e o ar, neste caso, fica em contato direto com a água. Com o tempo, como sabemos, uma parcela do ar será absorvida pela água e arrastada juntamente com ela para o sistema de distribuição, razão pela qual este tipo de THP necessita de um dispositivo para realimentação de ar, a fim de não prejudicar o desempenho do sistema.

5.6. SISTEMAS DE REALIMENTAÇÃO DE AR NO THP

Os principais métodos empregados na realimentação de ar, são:

- por meio de um compressor (ou

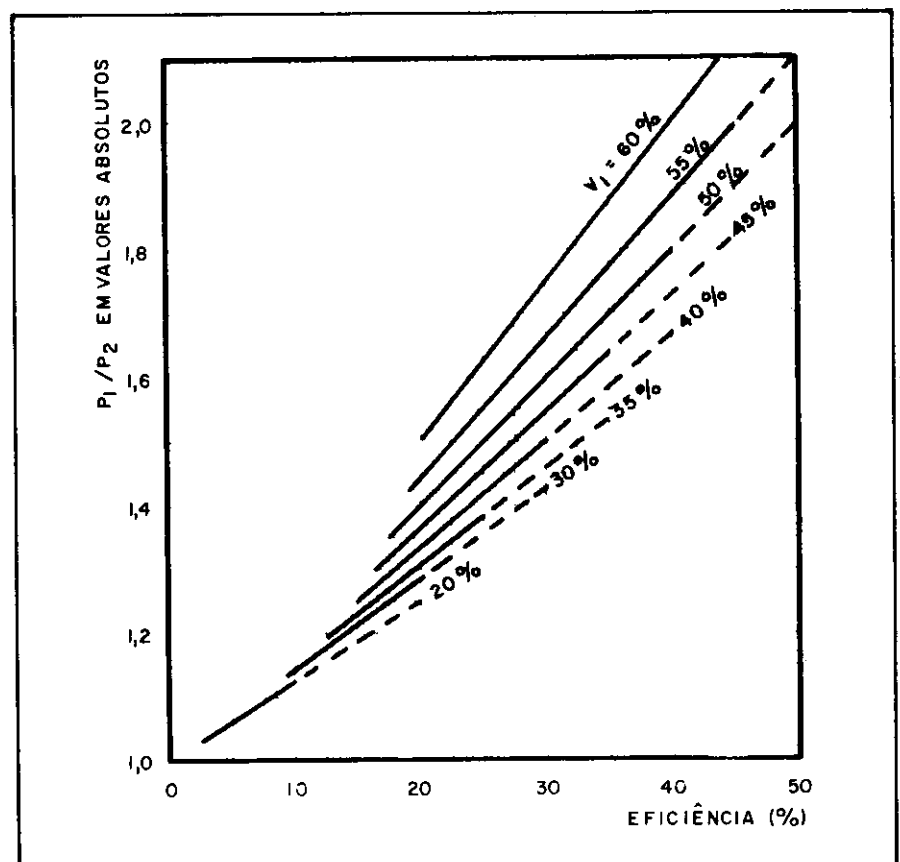


FIGURA 3 — Eficiência x P_1/P_2 para vários valores de V_1

outra fonte de ar comprimido).

- pela drenagem de água da tubulação de descarga da bomba.
- por meio de um dispositivo de controle de volume de ar.

Vejamos agora a descrição resumida de cada método.

5.6.1. Por meio de compressor de ar

Este método é utilizado frequentemente nas instalações onde são empregados tanques de grandes dimensões, acima de 2.800 litros, recomendação da Jacuzzi do Brasil.

NOTA.: — Conforme o layout po-

de-se usar tanques com capacidades bem maiores sem compressor.

5.6.2. Pela drenagem de água da tubulação de descarga da bomba

Neste método, a própria bomba irá realimentar o THP de ar e deve-se instalar na tubulação de descarga da bomba, no trecho compreendido entre a bomba e o THP, uma válvula de drenagem de água e uma válvula de admissão de ar (a válvula de drenagem deverá estar instalada abaixo da válvula de admissão de ar).

Quando a bomba é desligada, as válvulas de drenagem e de admissão de ar irão se abrir simultaneamente, permitindo a drenagem de água e entrada de ar na tubulação de descarga da bomba.

Quando a bomba é acionada, as válvulas de drenagem e de admissão de ar irão se fechar imediatamente, retendo uma certa quantidade de ar na tubulação de descarga, arrastando o mesmo juntamente com a água para o THP.

A quantidade de ar poderá ser controlada em função da distância entre as duas válvulas, diâmetro da tubulação, layout da tubulação de descarga e também do nível de sucção da bomba.

5.6.3. Dispositivo de controle de volume de ar

Há no comércio diversos tipos patenteados conhecidos como controladores de volume de ar.

Aqui, o tipo mais conhecido é o carregador automático de ar, patenteado pela Jacuzzi do Brasil, denominado "Jet Charger".

Para que o dispositivo escolhido apresente bom desempenho é preciso que esteja trabalhando dentro das condições para as quais foi projetado. Por esta razão é importante conhecer as recomendações dos fabricantes, tais como o volume do THP e a faixa de pressões de trabalho.

5.7. SISTEMAS DE CONTROLE

O controle do sistema compacto de abastecimento automático de água, deverá estar dotado basicamente de:

- a) controle de bomba.
- b) controle de volume de ar no THP.

Estes controles podem ser independentes um do outro ou interdependentes.

Os níveis de água são controlados

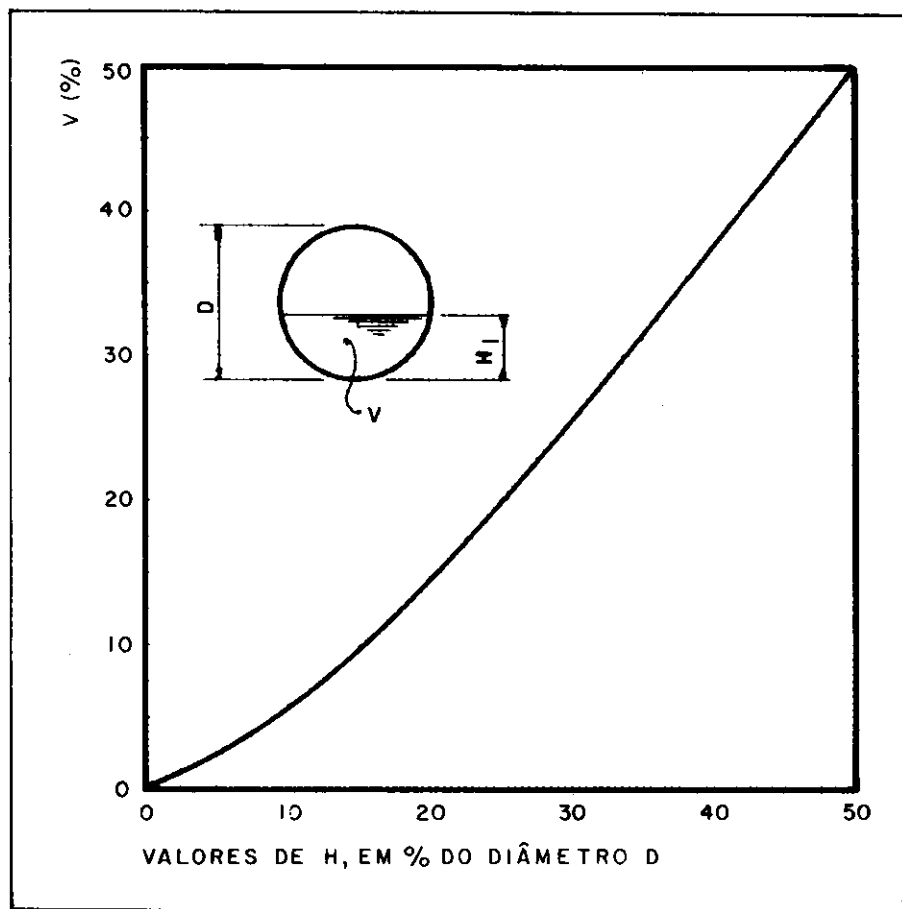


FIGURA 4 — Conversão do volume de água em altura H, para tanques cilíndricos horizontais.

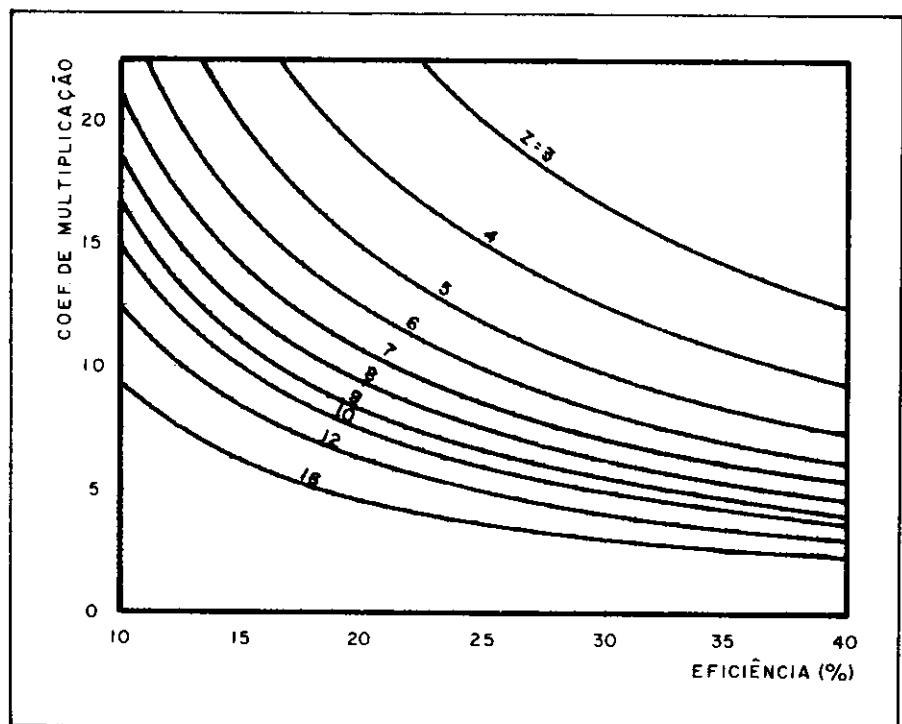


FIGURA 5 — Coeficiente de Multiplicação x Eficiência x Z

pela bomba, ligando-a ou desligando-a, através de pressostato ou de eletrodos e o controle de volume de ar no THP é feito por meio de um pressostato que ligará ou desligará o compressor de ar em função da pressão interna do THP.

No caso em que ocorrer excesso de ar, o controle de volume de ar pode ser efetuado por meio de válvulas de bóia e de alívio, instaladas em série.

Evidentemente, desde que seja viável, é possível adotar-se outros meios de controle, mas recomenda-se escolher sempre um sistema mais simples, a fim de se evitar problemas adicionais de manutenção.

Como exemplo, podemos citar os tipos mais simples e frequentemente utilizados para o controle:

Tipo A

Este tipo de controle é utilizado quando a realimentação de ar do THP é efetuada por meio de um compressor de ar ou por uma central de ar comprimido.

O comando da bomba é efetuado através de eletrodos, e o volume de ar por meio de um pressostato.

Tipo B

Neste tipo, o comando da bomba é efetuado por meio de pressostato.

O controle de volume de ar, como já foi feito, é efetuado pela própria bomba para realimentação em cada partida e o excesso de ar é controlado por meio de uma válvula descarregadora de excesso de ar. Esta válvula é ajustada para um nível de água desejado e à pressão pré fixada.

Tipo C

Neste tipo, a bomba é controlada por meio de pressostato e o controle de volume é efetuado por meio de um dispositivo controlador de volume de ar (patenteado), mencionado anteriormente, o qual aproveita a própria pressão da bomba para introduzir o ar ao THP.

6. SISTEMAS DE OPERAÇÃO

Normalmente são empregados três sistemas de operação a seguir esquematizados:

6.1. SISTEMA SIMPLES DE OPERAÇÃO

O sistema simples de operação, conforme esquematizado na figura 6, opera apenas com uma bomba.

6.2. SISTEMA ALTERNADO DE OPERAÇÃO

Este sistema possui duas bombas, sendo uma de reserva. As bombas B1 e B2 operam alternadamente. A disposição de montagem é a da figura 7.

6.3. SISTEMA DE DUAS BOMBAS EM PARALELO E ALTERNADAS

Este sistema, representado na figura 8, possui duas bombas. Enquanto a

demanda se mantiver pequena (menor do que a capacidade máxima de cada uma delas), as bombas B1 e B2 trabalharão alternadamente e, quando a demanda ultrapassar a capacidade de uma delas, ambas irão trabalhar em paralelo.

7. LAY-OUT, TUBULAÇÕES E ACESSÓRIOS

Serão apresentados, a seguir, esquemas de instalação do sistema compacto de abastecimento automático de água, mostrando os principais equipamentos

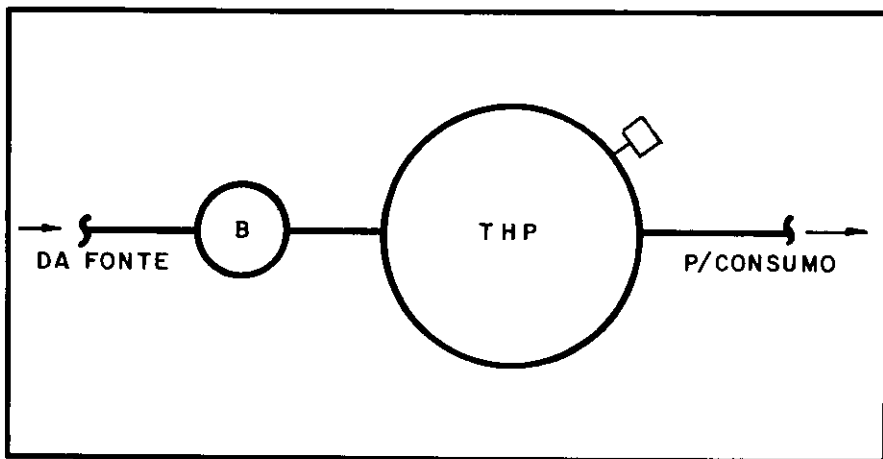


FIGURA 6 – Sistema simples de operação.

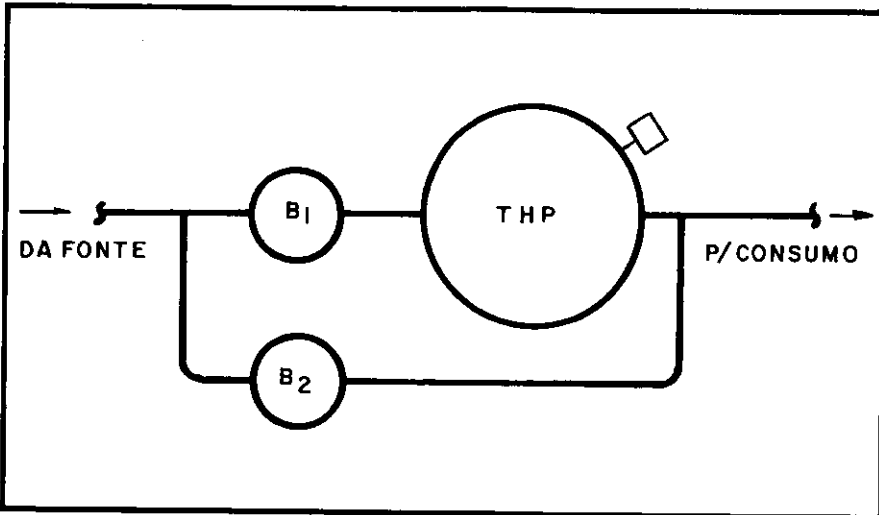


FIGURA 7 – Sistema alternado de operação

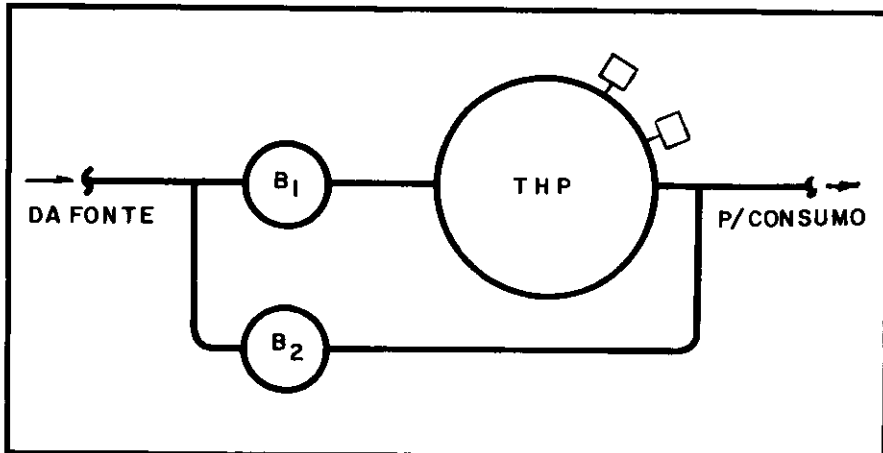


FIGURA 8 – Sistema de operação com duas bombas em paralelo e alternadas

e dispositivos de controle e de proteção.

7.1. SISTEMA COM UMA BOMBA E COMPRESSOR DE AR

Este sistema consta de:

1. Pressostato para realimentação de ar comprimido.
2. Válvula de segurança.
3. Tanque hidro pneumático.
4. Válvula gaveta.
5. Válvula de retenção.
6. Eletrodos para comando de bomba.
7. Visor de nível de água.
8. Manômetro.
9. Painel de comando.

7.2. SISTEMA COM UMA BOMBA E REALIMENTAÇÃO DE AR PELA DRENAGEM DA ÁGUA DA TUBULAÇÃO DE DESCARGA DA BOMBA

Este sistema consta de:

1. Válvula de segurança.
2. Válvula descarregadora de excesso de ar.
3. Manômetro.
4. Pressostato para comando de bomba.
5. Válvula de admissão de ar.
6. Válvula de drenagem de água.
7. Válvula de retenção.
8. Válvula de gaveta.
9. Tanque hidro pneumático.
10. Visor de nível de água.
11. Painel de comando.

7.3. SISTEMA COM UMA BOMBA E REALIMENTAÇÃO DE AR POR MEIO DE DISPOSITIVO DE CONTROLE DE VOLUME DE AR

Este sistema consta de:

1. Tanque hidro pneumático.
2. Válvula de segurança.
3. Manômetro.
4. Realimentador automático de ar.
5. Válvula descarregadora de excesso de ar.
6. Válvula gaveta.
7. Válvula de retenção.
8. Pressostato para comando de bomba.
9. Visor de nível de água.
10. Painel de comando.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agricultural Engineering Development Division, Commerce Department, Tennessee Valley Authority. Pumps and Plumbing for the Farmstead. November 1940 - 11 p.
2. Marin, Osvaldo Valdes. Hidropack - Complemento para Projectistas. Belavista 0735, Santiago - 25 p.
3. Reiff, Fred M. Hydro-Pneumatic Pressure Systems. U.S. Department of Health, Education And Welfare, Public Health Service - Division of Indian Health, Office of Environmental Health, Special Projects Branch - 35 p.
4. Ducros, L. Pompes Hydrauliques et Appareils Élévatoires. Dunod - Paris, 1967 - p. 137-152.

5. Hitachi, Ltd. 6-2, Otemachi, 2 - Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 100. Hitachi Water Ace Manual - Automatic Water Supply Unit. Catálogo n.º HP-E 037 Q.
6. Yamamoto, Yoshimaru, Hitachi Review, 6-2, Otemachi, 2-Chome, Chiyoda-Ku, Tokyo 100. Automatic Water Supply System by General Purpose Pumps. Tokyo, October, 1973 - Vol. 22 - n.º 10 P. 417-423.
7. Macintyre, Archibald Joseph. Bombas e Instalações de Bombeamento. Editora Guanabara Dois S/A. Rio de Janeiro - 1980 - P. 405-413.

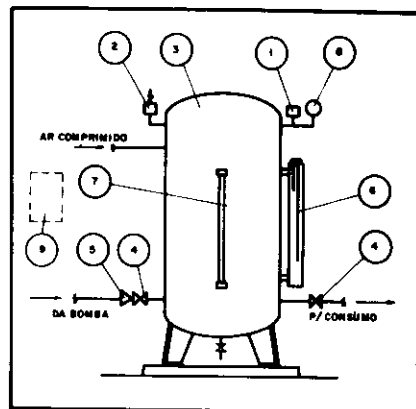


FIGURA 9 - Sistema de realimentação de ar com compressor

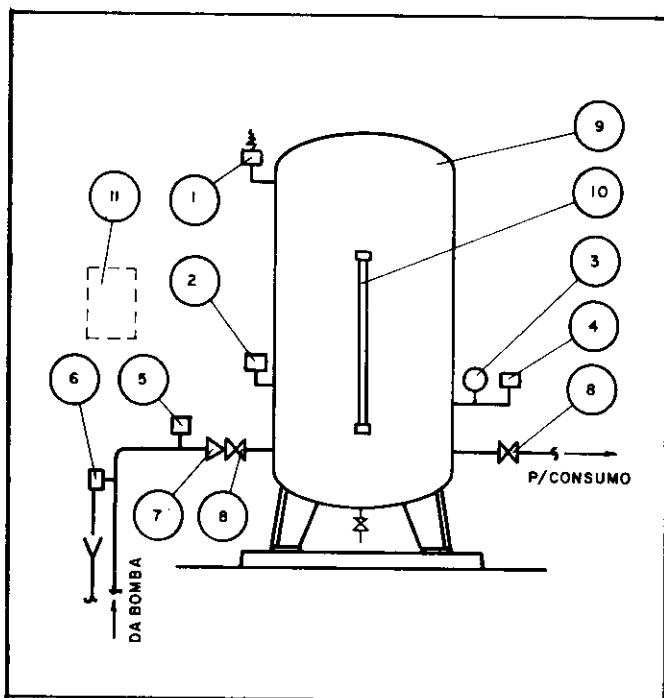


FIGURA 10 - Sistema de recarregamento de ar pela drenagem de água da tubulação de descarga da bomba

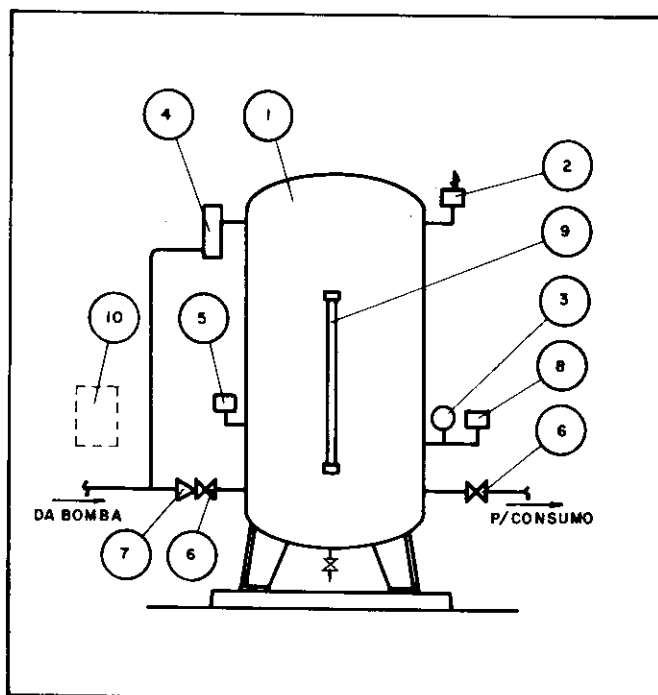


FIGURA 11 - Sistema de realimentação de ar com dispositivo de controle de volume de ar