

Elevação Pneumática de Líquidos (Air Lift)

Eng.º J. CARVALHO LOPES

Catedrático de Técnica Sanitária Urbana da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais e Catedrático de Hidráulica da Escola de Minas de Ouro Preto.

Eng.º P. SILVESTRE

Regente da Cadeira de Mecânica dos Fluidos — Hidráulica da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

A) VANTAGENS, INCONVENIENTES, DEFINIÇÕES:

O sistema vem do século passado. Criado pelo engenheiro Pohlé, seu emprego, inicialmente, limitou-se a instalações industriais. Conquanto de rendimento termodinâmico relativamente baixo, apresenta sobre os tipos convencionais de bombeamento (bombas centrífugas, de êmbolo, ejetores, etc.) as seguintes vantagens:

1 — Ausência de peças móveis em contato com o líquido bombeado o que é inestimável em se tratando de fluidos química ou mecanicamente corrosivos;

2 — Refrigera o líquido, pela expansão do gás com que se acha misturado, tal como nas unidades frigoríficas;

3 — Oxida o líquido bombeado enriquecendo-o de oxigênio, fato que, em se tratando de água, às vezes, diminui-lhe a turbidez e melhora suas condições de potabilidade;

4 — Um compressor somente, poderá atender vários poços;

5 — Presta-se admiravelmente à elevação de líquidos agressivos como os utilizados nas indústrias químicas;

6 — Grande duração e manutenção de baixo custo;

7 — Em captação subterrânea é o sistema que mais água fornece por unidade de área transversal de tubo em virtude das elevadas velocidades permitidas e pela ausência de peças no interior da tubulação adutora;

8 — O compressor poderá ficar relativamente distante da bomba como o exigem os casos de áreas de captação inundáveis, oportunidades em que as máquinas serão instaladas a cem ou mais metros dos poços, em locais elevados, a salvo das inundações;

9 — Dispensa instalações de reserva em razão da diminuta manutenção, trabalhando cada unidade vários anos sem necessidade de reparos;

A elevação pneumática apresenta alguns inconvenientes dentre os quais citaremos os dois principais:

1 — Baixo rendimento, geralmente inferior a 30%;

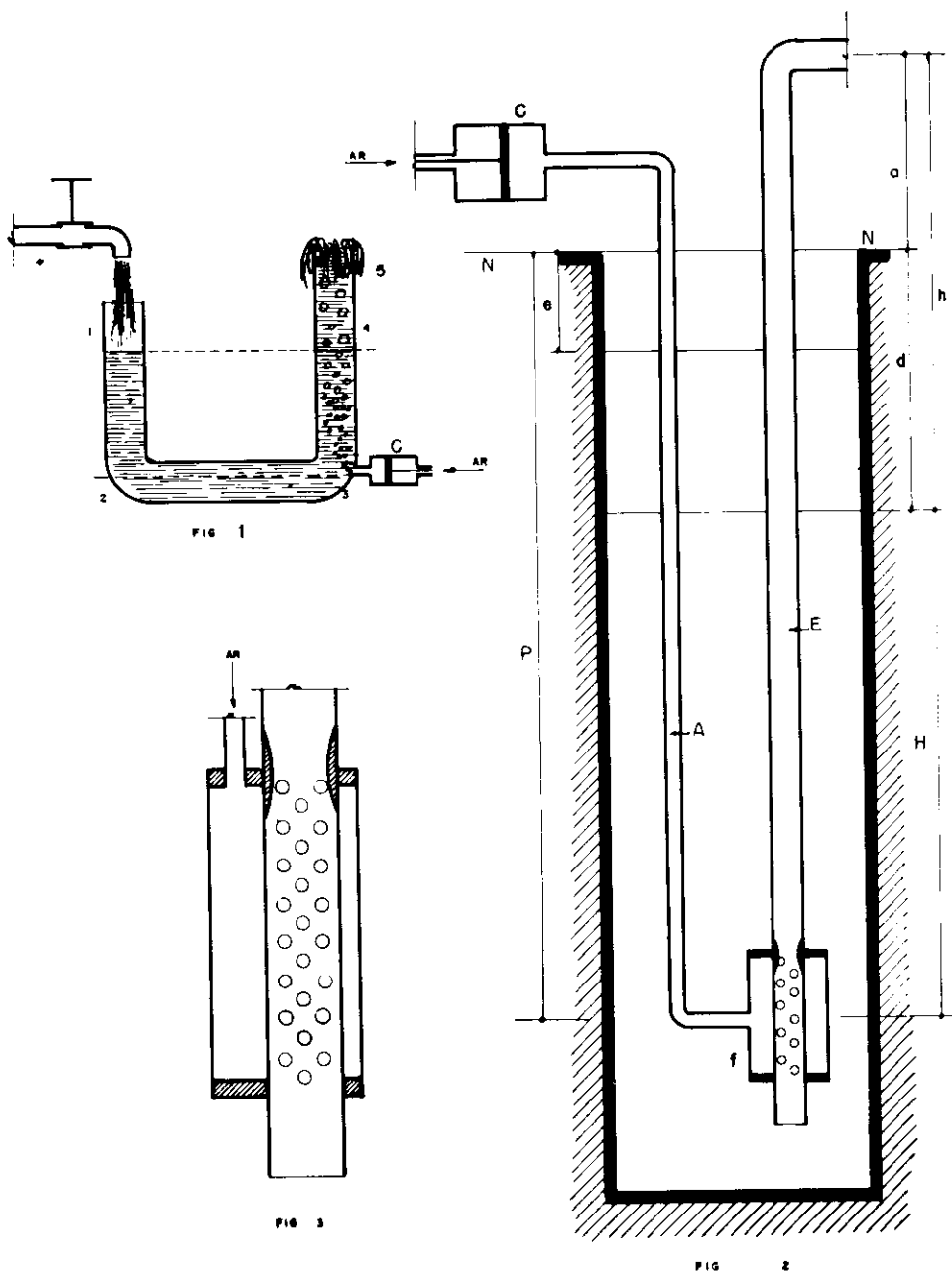
2 — Não se presta a transportes longos, principalmente sob fraca declividade, em virtude da tendência de formação de bôlhas de ar que interferem no escoamento. Por tal motivo consideramos a elevação pneumática um sistema antes **extratório** que **elevatório** de líquidos.

Assim, para os casos de captação subterrânea seria melhor dizer-se **extração pneumática** da água ao invés de **elevação pneumática**.

Fiéis a esta distinção costumamos projetar nossas casas de máquinas atribuindo ao air lift, tão somente, a incumbência de extrair a água dos poços, encarregando as bombas, geralmente eletro-centrífugas, do recalque para os reservatórios elevados.

B) PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO:

Se, no ponto 3 do tubo em U da fig. 1, contendo líquido até o nível 1-4, injetarmos ar comprimido, por meio do compressor C, obteremos no ramo direito uma emulsão líquido-ar que se elevará ao nível 5. Se o registro indicado na figura mantiver constantemente em 1 o nível do líquido no ramo esquerdo do tubo, o peso da coluna 1-2 suportará o da coluna 5-3 de emulsão, em razão do princípio dos vasos comunicados.



Assim funciona a bomba hidro-pneumática, cuja montagem, na prática, está esquematizada na fig. 2. O compressor C injeta ar no hidroemulsor f por meio da tubulação

A. O hidroemulsor, de que voltaremos a falar, é o dispositivo encarregado de fracionar finalmente a coluna de ar facilitando sua mistura com o líquido a ser bombeado.

A mistura líquido-ar sobe pela coluna de emulsão E até a altura a medida a partir do nível natural do terreno N-N, geralmente tomado como referência.

Temos na Fig. 2:

p — **profundidade do poço** entre N-N e o ponto em que o eixo da coluna de ar encontra o hidroemulsor;

e — **altura estática** do lençol subterrâneo, no poço, quando não há bombeamento;

d — **altura dinâmica** que fixa o nível de equilíbrio do lençol quando o poço atinge o regime normal de funcionamento;

a — **altura de elevação** acima do solo natural;

$H = p - d$ — **submergência linear**;

$h = d + a$ — **altura total de elevação**.

Comumente a submergência é expressa em percentual da altura da coluna de emulsão:

$$S = 100 \frac{p - d}{p + a} = 100 \frac{H}{H + h} \quad (1)$$

As boas submergências situam-se entre 40% e 80%, as ótimas são de 65% a 70%.

O quadro abaixo sugere a submergência a ser adotada tendo em vista a altura da elevação.

QUADRO I

h metros	Submergência	
	Normal	% Ótima
4 a 40	50 a 70	58
40 a 75	40 a 60	50
100 a 200	37 a 50	48
200 a 250	35 a 45	38

A expressão (1), resolvida em relação a p, é útil para indicar a profundidade a que devemos levar a perfuração do poço:

$$p = (S a + 100 d) / (100 - S) \quad (1-bis)$$

Para garantia do bom funcionamento do sistema os trabalhos interrompem-se a (p + m) metros sendo $m \geq 1$ a folga acrescentada à profundidade, variável com o tipo de hidroemulsor empregado e com as características estratigráficas do local da perfuração.

No início do bombeamento o compressor trabalha à **pressão de arranque**, necessária para vencer o peso da coluna hidrostática e que figurará nas especificações para aquisição da máquina:

$$H_a = p - e \quad (2)$$

Valor que se presta admiravelmente à imprescindível aferição dos manômetros geralmente construídos com molas, podendo fornecer falsas indicações.

Depois de iniciado o bombeamento verifica-se o rebaixamento gradativo do nível dinâmico e a pressão no manômetro decresce até atingir a **pressão de regime corresp. à altura**:

$$H_r = (p - d) + JL = H + JL \quad (3)$$

expressão na qual a primeira parcela é a **pressão dinâmica** e a segunda, a perda de carga total devida aos atritos.

Evidentemente a pressão de regime só pode ser calculada se fôr conhecida a perda de carga, usualmente arbitrada entre 5% e 10% de $(p + a)$.

C) CONSUMO DE AR:

Vamos deduzir a fórmula para o caso de bombeamento de líquidos ao nível do mar. Considerada a expressão isotérmica do ar, a relação de compressão será:

$$r = (P_r + P_0) / P_0 = P / P_0 \quad (4)$$

O trabalho de expansão isotérmica, na unidade de tempo, é dado por

$$P_0 V_0 \log_e r \quad (5)$$

Desprezadas as perdas, este trabalho deve ser igual ao necessário para elevar a vazão fornecida pelo poço de $h = d + a$ metros.

$$P_0 V_0 \log_e r = \gamma Q h \quad (6)$$

de onde:

$$V_0 = (\gamma Q h) / (P_0 \log_e r) \quad (7)$$

Nesta expressão V_0 é o volume teórico de ar livre necessário para bombear Q litros de líquido por segundo.

Dividindo ambos os membros de (7) por γQ e substituindo r pelo seu valor dado em (4) vem, em logaritmos decimais:

$$V = \frac{h}{2,303 P_0 \log \frac{P_r + P_0}{P_0}} \quad (8)$$

Na literatura inglesa esta fórmula, para o caso da água, se denomina Rix-Abrahms-Ingersoll e se escreve:

$$V = \frac{h}{C \log \frac{H + 34}{34}} \quad (9)$$

onde:

h e H — são dados em pés;

34 — é a altura da coluna d'água, em pés, representativa da pressão atmosférica ao nível do mar;

V — é o volume de ar livre, em pés cúbicos, necessário para elevar um galão de água a h pés de altura;

C — constante obtida nos ensaios conduzidos na estação experimental de elevação pneumática da Ingersoll-Rand.

Em unidades métricas a (9) se escreve:

$$V = \frac{2,46}{C} \cdot \frac{h}{\log \frac{H + 103,6}{103,6}} \quad (10)$$

onde:

h e H — em decímetros.

V — litros de ar livre por litro de água elevada.

Introduzimos a constante 2,46 na fórmula convertida ao sistema métrico, com o fim de aproveitar as tabelas de C já existentes.

A estação experimental que a Ingersoll-Rand colocou à disposição da Universidade de Stanton (Easton, Pensilvânia) consta de um poço profundo com instalações cuja flexibi-

lidade tornou possível efetuar o tratamento estatístico de centenas de experiências abrangendo enorme variedade de condições.

A partir das citadas experiências organizou-se o quadro seguinte que orienta a escolha da constante, de acordo com a submersão adotada.

QUADRO II

Submersão %	Valor de C	
	Ingersoll-Rand	C. Lopes
75	366	250
60	335	215
50	296	180
40	246	140

Como vemos, a constante C varia no mesmo sentido da submersão. Os valores fornecidos pela Ingersoll-Rand são, a nosso ver, um pouco otimistas. Nossa experiência aconselha valores mais conservativos como os registrados na coluna da direita.

É bem provável que os menores valores de C por nós determinados decorram da imperfeição dos nossos hidroemulsores ainda não ajustados às especificações exigidas pelo bom funcionamento do sistema.

D) HIDROEMULSORES:

Devem ser projetados de modo a fracionar finamente a coluna gasosa com o fim de permitir a perfeita mistura do líquido a ser bombeado com o ar. Os utilizados entre nós compõem-se de dois tubos curtos, raramente maiores de 60 cm, excêntricos, sendo o interior dotado de grande número de furos (fig. 3), responsáveis pela formação das agulhas de ar. A excentricidade permite a entrada do ar pelo topo o que facilita a instalação.

Em casos de responsabilidade os hidroemulsores clássicos (Ingersoll, Sullivan, etc.) têm altura entre 1 metro e 1,5 metros. O tubo interno, com diâmetro igual ao da coluna de emulsão, é construído com material inoxidável (aço inoxidável, red-bronze, etc.), com furos de 1/16" uniformemente distribuídos, ou com áreas decrescentes variando linearmente de baixo para cima.

À saída do hidroemulsor, na extremidade superior, a coluna pode apresentar uma estrição estritura de curva suave com a finalidade de melhorar a mistura.

Efetivamente, a cintura que vemos na fig. 3 provoca certa compressão do ar na câmara de que resulta mistura mais íntima dos fluidos.

Inferiormente o hidroemulsor termina com uma cauda de mais ou menos 60 cm de comprimento cuja boca deve ficar acima do fundo do poço para evitar aspiração de substâncias sedimentárias.

Há casos em que o diâmetro do poço impõe a injeção de ar pelo interior da coluna de emulsão. Este sistema de injeção interna deve ser tanto quanto possível evitado. Quando sua adoção for obrigatória o uso dos valores de C por nós determinados encontra plena justificação.

E) DIÂMETRO DE ENTRADA DA COLUNA DE EMULSÃO:

O ar injetado no hidroemulsor incorpora-se ao líquido sob forma de bôlhas e adquire movimento ascendente. À medida que o ar se eleva a pressão hidrostática diminui e as bôlhas expandem-se. Como o escorregamento do ar no líquido, decorrente da diferença de velocidades dos fluidos, decresce com o tamanho das bôlhas, há o máximo interesse em efetuar a emulsão com as menores bôlhas possíveis.

Esta é a razão do fracionamento da coluna de ar como já o dissemos e explica porque o diâmetro da coluna de emulsão não pode ser único.

A lei de Mariotte permite-nos escrever:

$$V_1 / V = P_0 / P_1 = 1/r$$

onde V é o volume de ar livre necessário para elevar a unidade de tempo. Se o volume do líquido for Q, teremos na base da coluna de emulsão:

$$\begin{aligned} \text{Volume de ar:} & \quad Q V / r \\ \text{Volume de água:} & \quad Q \\ \text{Volume de emulsão:} & \quad V = Q (V + r) / r \end{aligned} \quad (11)$$

Conhecida a velocidade média de ascensão da mistura na base da coluna de emulsão, poderemos calcular o diâmetro do tubo.

A velocidade de que falamos é dada pela experiência e se aconselham:

$$\text{Na entrada} \quad U_i = (2,20 \text{ a } 3,70) \text{ m/seg.}$$

$$\text{Na descarga} \quad U_d = (3,70 \text{ a } 7,60) \text{ m/seg.}$$

Adotada a velocidade teremos para a seção de entrada:

$$S_i = (V + r) / r \cdot Q / U_i$$

e, conseqüentemente:

$$D_i = 2 (S_i / \pi)^{1/2} \quad (12)$$

que será o diâmetro da parte inferior da coluna de emulsão.

F) DIÂMETRO DE DESCARGA DA COLUNA DE EMULSÃO:

À saída do poço a relação de compressão $r = 1$ e teremos:

$$\begin{aligned} \text{Volume de ar:} & \quad Q V_1 \\ \text{Volume de água:} & \quad Q \\ \text{Volume de emulsão:} & \quad V_d = Q (V_1 + 1) \end{aligned} \quad (13)$$

Adotada a velocidade de descarga:

$$S_d = Q / U_d (V_1 + 1)$$

e, também:

$$D_d = 2 (S_d / \pi)^{1/2} \quad (14)$$

G) POSIÇÃO DA LUVA DE REDUÇÃO:

No seu movimento de ascensão o ar expande-se da quantidade fornecida pela diferença entre as expressões (13) e (11) no comprimento $(p + a)$. Admitindo que a variação do volume seja linear, teremos por metro de tubo:

$$(V_d - V_c) / (p + a) = Q V_0 (r - 1) / (p + a) r \quad (15)$$

A uma altura qualquer X o volume da mistura que percorre a coluna na unidade de tempo será:

$$V_x = V_c + Q V_0 (r - 1) X / r (p + a) \quad (16)$$

Sendo U_m a velocidade média máxima permitida na tubulação de diâmetro D_c , teremos:

$$U_m = V_x / S_c \quad (17)$$

de onde, tendo em vista a (15):

$$X = (S_c U_m - V_c) (p + a) / (V_d - V_c) \quad (18)$$

Bom, valor para U_m é o resultante da média entre os extremos acima indicados ou seja:

$$U_m = 4,30 \text{ m/seg.}$$

H) POTÊNCIA DO COMPRESSOR:

O trabalho teórico do compressor é dado pela fórmula abaixo, deduzida a partir da equação $P V^n = \text{cte.}$ para transformações politrópicas:

$$T = \frac{n}{n-1} P_0 V_0 \left(r^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \quad (19)$$

Nesta fórmula a pressão é dada em kg/m^2 e o volume em m^3 com o que o resultado vem em quilogrametros. Geralmente $n = 1,3$.

Para a potência efetiva em cavalos-vapor:

$$N_e = T / 75 \eta \quad (20)$$

em que η é o rendimento global do compressor.

REFERÊNCIAS

- 1 — BABBIT H. e DOOLOND J. — Water Supply Engineering — Mac Graw — New York — 1955.
- 2 — BERGERON L. — Machines Hydrauliques — B.I.T.P. Dunot — Paris — 1928.
- 3 — CARVALHO LOPES J. — Influência da altitude no funcionamento dos Compressores de Ar quando Aplicados à Elevação Pneumática da Água — Escolas Profissionais Salesianas — São Paulo — 1937.
- 4 — CARVALHO LOPES J. — Notas inéditas.
- 5 — GIBSON A. H. — Hydraulics And Its Application — Van Nostrand — New York — 1925.
- 6 — INGERSOLL-RAND COMPANY — Compressed Air Data — 1939.