

4– EJETORES E SISTEMAS DE VÁCUO

Sistema sub vácuo é qualquer sistema com pressão absoluta abaixo da pressão atmosférica local. Na prática esses sistemas estão sujeitos à entrada de ar devido a imperfeições nos dispositivos de vedação.

A quantidade de ar que adentra ao sistema depende da pressão absoluta (Torr), e do volume do equipamento (ft^3), conforme a relação:

$$w = k.V^{2/3} \quad \text{onde } w = \text{massa de ar (lbm/h)}$$

Os valores de k usados são os seguintes:

0,2 quando a pressão absoluta é mais de 90 Torr

0,08 quando a pressão absoluta está entre 3 e 20 Torr

0,025 quando a pressão absoluta é menor que 1 Torr.

Os sistemas de vácuo são comumente usados para:

- a) Retirar ar e seus componentes, tais como Oxigênio, vapor d'água, os quais podem se combinar com substâncias do processo e alterar ou ocasionar reações químicas.
- b) Remover reagente em excesso ou subprodutos indesejáveis, que podem comprometer a eficiência ou rendimento do processo.
- c) Reduzir pontos de ebulição para destilação de misturas.
- d) Secar material pela remoção de solvente.
- e) Criar um diferencial de pressão para permitir o transporte de material de um equipamento para outro ou através de um meio filtrante.

O vácuo pode ser gerado por combinação de dispositivos chamados bombas de vácuo, num amplo espectro de valores de pressão absoluta,

por meio de múltiplos estágios ou por meio de associações em paralelo que podem ampliar a capacidade de evacuação de gases e vapores.

Os ejetores a vapor d'água são considerados o "cavalo de trabalho" do processamento a vácuo. São fáceis de usar e de operar.

No entanto, no que tange a consumo de energia e problemas ambientais, sua utilização vem diminuindo.

Há uma preferência por sistemas híbridos, que empregam um ejetor a vapor d'água como um estágio, seguido por uma bomba mecânica de vácuo.

4.1 VANTAGENS DOS EJETORES

= CONSTRUÇÃO SIMPLES

= OPERACIONALIDADE CONFIÁVEL

= MÍNIMA MANUTENÇÃO

= RESISTENTE A CORROSÃO

= PODE SER FORNECIDO EM QUALQUER MATERIAL DO SISTEMA

= PODE SUCCIONAR FLUXOS DE 10 m³/h A 2.000.000 m³/h

= É ADEQUADO PARA VÁCUO DE ATÉ 0,01 mbar (ABS)

= FLUIDO MOTOR PODE SER VAPOR DE ÁGUA OU OUTRO QUALQUER COMO VAPOR, COM PRESSÃO ACIMA OU ABAIXO DA ATMOSFÉRICA

= PODE SER COMBINADO COM BOMBAS MECÂNICAS DE VÁCUO (COMO COMPRESSORES DE SELO LÍQUIDO)

IMPORTANTE:

A COMBINAÇÃO DE EJETORES COM BOMBAS DE VÁCUO, COM UM SISTEMA DE CONTROLE BEM ESCOLHIDO, REDUZ O CONSUMO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO E FLUIDO MOTOR

UM EXEMPLO DE SISTEMA COMBINADO USADO NUMA TORRE DE DESTILAÇÃO A VÁCUO DE UMA REFINARIA APRESENTA OS SEGUINTE VALORES:

CORRENTE PARA EVACUAÇÃO: 6 198 kg/h OU 689 337 m³/h

PRESSÕES DE SUÇÃO E DESCARGA: 8 mbar E 1500 mbar

4.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E BALANÇO DE ENERGIA

Com uma simples figura temos um esquema com pontos numerados de 1 a 5. Todas as pressões são absolutas (kPa), as entalpias (h) são específicas (kJ/kg) e as qualidades do vapor representadas por (x)

Supondo que o fluido motor seja vapor d'água a alta pressão P_1 , alimentado no ponto 1.

Esse vapor se expande adiabaticamente através do bocal de injeção até a pressão P_2 , reinante na câmara de mistura (ponto 2).

O vapor transfere quantidade de movimento ao fluido arrastado que está no vaso de processo onde se deseja fazer vácuo, que é aspirado no ponto 3.

No ponto 4 seguinte, os fluidos são misturados e começam a ser pressurizados (pois a energia cinética é convertida em energia de pressão) no difusor até o estado do ponto 5.

4.2.1 BALANÇO DE ENERGIA:

O processo é adiabático e irreversível, havendo aceleração do fluido motor no bocal e realização de trabalho. O sistema é contínuo e sem reação química.

Então temos:

$$\Delta H + \Delta P + \Delta K = Q - W$$

$$Q = 0 \quad \text{e} \quad \Delta P = 0$$

$$\Delta H + \Delta K = -W$$

ΔH tem valor negativo porque a entalpia do vapor após a expansão é menor que a entalpia do vapor que chega ao ejetor.

ΔK tem valor positivo porque a velocidade no bocal é maior que a velocidade antes do bocal.

Então, considerando que o efeito desejado é a realização do trabalho de compressão dos gases que estão no vaso que está sendo evacuado, e não propriamente acelerar o fluido motor, o termo ΔK pode ser visto como uma “perda de trabalho”.

O ideal seria produzir trabalho isoentropicamente, (ausência de efeitos de degradação de energia). Assim, o valor máximo que se poderia conseguir corresponde a:

$$H_2 - H_1 = m (h_2 - h_1)$$

4.3 DIMENSIONAMENTO E ESPECIFICAÇÃO DE EJETORES

NORMALMENTE OS PROJETOS DOS SISTEMAS DE EJETORES SÃO ELABORADOS PELOS FORNECEDORES.

O EJETOR PODE TER MAIS DE UM ESTÁGIO PARA CONSEGUIR UM GRAU DE VÁCUO MAIOR. A RAZÃO DE COMPRESSÃO DE UM ÚNICO ESTÁGIO PODE SER SUPERIOR A 10, MAS A CAPACIDADE POR UNIDADE DE MASSA DE FLUIDO MOTOR TORNA-SE ANTIECONÔMICA.

PARA RAZÕES DE COMPRESSÃO SUPERIORES RECORRE-SE AO USO DE SISTEMAS COM VÁRIOS ESTÁGIOS DE EJETORES, COLOCADOS EM SÉRIE.

SISTEMAS DESSE TIPO SÃO CAPAZES DE MANTER PRESSÃO ABSOLUTA ABAIXO DE 1mm Hg.

A figura da página 211, no livro Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Volume I de Ernest E. Ludwig mostra os principais tipos de dispositivos para obtenção de vácuo, seus arranjos e aplicações, inclusive do número de estágios de ejetores que devem ser usados em cada caso.

Deverá ser buscado na literatura desenho representando um sistema de vácuo com vários estágios de ejetores e condensadores.

O ENGENHEIRO QUÍMICO DEVE ESPECIFICAR O SISTEMA ONDE OS EJETOES SERÃO INCORPORADOS, INFORMANDO AS CONDIÇÕES OPERACIONAIS, ABAIXO LISTADAS:

- a) VAZÃO DE TODOS OS COMPONENTES QUE SERÃO EVACUADOS DO SISTEMA (FREQUENTEMENTE AR E VAPOR DE ÁGUA)
- b) TEMPERATURA E PRESSÃO NA ENTRADA DOS EJETOES E PRESSÃO NA SAIDA SE NÃO FOR ATMOSFÉRICA.
- c) TEMPERATURA E PRESSÃO DO VAPOR DISPONÍVEL COMO FLUIDO MOTOR PARA OS EJETOES.
- d) TEMPERATURA E VAZÃO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO DISPONÍVEL PARA OS INTERCONDENSADORES, BEM COMO A PERDA DE CARGA DISPONÍVEL PARA OS MESMOS.

O FORNECEDOR CONVERTERÁ A VAZÃO DOS COMPONENTES A SEREM EVACUADOS, EM “AR EQUIVALENTE”, CONFORME A EXPRESSÃO QUE SEGUE:

$$RAE = F (0,0345 (PM))^{1/2} \quad \text{ONDE:}$$

RAE = RAZÃO ENTRE A MASSA DE AR QUE SERIA EVACUADO POR UM MESMO EJETOR OPERANDO SOB AS MESMAS CONDIÇÕES, E A MASSA DE GÁS QUE TERÁ DE SER EVACUADO

PM = MASSA MOLECULAR DO GÁS A SER EVACUADO.

F = 1,00 PARA MASSAS MOLECULARES ENTRE 1 E 30

F = [1,076 – 0,0026 (PM)] PARA MASSAS MOLECULARES ENTRE 31 E 140.

O EFEITO DA TEMPERATURA É CALCULADO PELA: RTAE

RTAE = RAZÃO DA TEMPERATURA DO AR EQUIVALENTE

RTAE = RAZÃO ENTRE A MASSA DE AR A 70°F E A MASSA DE AR A UMA TEMPERATURA MAIS ALTA QUE SERÁ EVACUADA PELO MESMO EJETOR OPERANDO NAS MESMAS CONDIÇÕES.

RTAE = 1,017 – 0,00024 (T) sendo (T) em °F

4.4 FLUIDO MOTOR

O MAIS USADO É VAPOR DE 100 psig COM UM GRAU DE SUPERAQUECIMENTO DE 5 A 10°C.

O FORNECEDOR DEVE APRESENTAR O CONSUMO DE VAPOR. PORÉM, PARA UMA ESTIMATIVA INICIAL O ENGENHEIRO QUÍMICO PODE CALCULAR O TRABALHO (hp) DE COMPRESSÃO DOS EJETORES USANDO AS EQUAÇÕES JÁ CONHECIDAS DO CAPÍTULO DE COMPRESSORES.

PARA ESSE CÁLCULO CONSIDERE QUE NÃO HÁ CONDENSAÇÃO DE COMPONENTES DA MISTURA QUE ESTARÁ SENDO EVACUADA, COMO TAMBÉM AS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO NA ENTRADA DO EJETOR E A PRESSÃO DE SAÍDA.

SE USAR O VALOR DO Z = 1,0 O RESULTADO SERÁ MAIS CONSERVATIVO.

4.5 RECOMENDAÇÕES DE MONTAGEM x RENDIMENTOS DOS EJETORES:

- a) A fixação dos bocais não deve ser soldada para evitar desalinhamento. Devem ser feitas por rosca.
- b) Os bocais não devem ter rugosidade interna. Devem ser perfeitamente usinados.
- c) Usar Stellite ou outro material duro no orifício (garganta) do ejetor. Aço inox 316 s/s é insuficiente
- d) Evitar erosão na entrada do difusor.
- e) Evitar formação de incrustação nas partes internas.
- f) As linhas de descarga dos ejetores para os condensadores devem possuir poucas curvas, no máximo duas curvas de raio longo de 90°. Isto implica em perda de desempenho de no mínimo 3 a 5%.

Quanto a rendimentos da operação dos ejetores:

- a) No caso de bocais retos o rendimento da expansão é de 90% e no caso de bocais convergentes bem torneados é de 95%.
- b) Valores típicos entre 60% e 70% para rendimento do processo de transferência de quantidade de movimento.
- c) O rendimento da compressão no bocal é da ordem de 80%.
- d) O consumo mínimo pode ser calculado considerando os três rendimentos iguais a 100% cada. Neste caso o trabalho que pode ser obtido pela expansão do fluido motor é o produto da vazão mássica pela diferença de entalpia.

IMPORTANTE:

A manutenção dos ejetores está na norma “Standards for Steam Jet Ejectors” do “Heat Exchange Institute”.

Para determinar o número de estágios, adote a RAZÃO DE COMPRESSÃO MÁXIMA POR ESTÁGIO, DE 7:1.

Não deve haver grandes variações de pressão do vapor d'água usado como fluido motor.

Sobre a pressão do vapor motor deve ser observado que valores:

ABAIXO DO PROJETO – REDUZ A CAPACIDADE

ACIMA DO PROJETO – NÃO AUMENTA A CAPACIDADE E PODE ATÉ REDUZIR.

IMPORTANTE:

EJETOR DE TRÊS ESTÁGIOS NECESSITA DE 100 kg DE VAPOR MOTOR POR CADA 1 kg DE AR, PARA MANTER A PRESSÃO ABSOLUTA EM 1 Torr.