

5– VASOS SEPARADORES, ACUMULADORES E DECANTADORES

SÃO EQUIPAMENTOS MUITO USADOS NA INDÚSTRIA QUÍMICA PARA VÁRIAS FUNÇÕES, ENTRE ELAS:

MISTURA OU SEPARAÇÃO DE FASES

DISSOLUÇÃO

AQUECIMENTO

NEUTRALIZAÇÃO

CRISTALIZAÇÃO

REAÇÃO QUÍMICA

ACÚMULO DE LÍQUIDOS OU GASES

SUAS DIMENSÕES SÃO FIXADAS DE ACORDO COM A FUNÇÃO QUE O VASO DEVE DESEMPENHAR.

ALGUNS VASOS RELATIVAMENTE PEQUENOS SÃO CHAMADOS DE TAMBORES. É O CASO DE VASOS QUE SERVEM DE PULMÃO OU VASOS DE “FLASH”.

ESSA DENOMINAÇÃO NÃO SE LIMITA ÀS DIMENSÕES, COMO É O CASO DOS TAMBORES DE COQUE DAS PLANTAS DE COQUEAMENTO RETARDADO EXISTENTE EM ALGUMAS REFINARIAS DE PETRÓLEO. NESSE CASO ESPECÍFICO, OS VASOS SÃO VERTICAIS COM ATÉ 30 m DE ALTURA.

PARA DIMENSIONAMENTO DOS VASOS DEVE-SE COMBINAR O BALANÇO MATERIAL COM A VELOCIDADE DO PROCESSO ENVOLVIDO.

5.1 SEPARADORES VAPOR-LÍQUIDO

A BASE DO PROJETO É CONSEGUIR UMA VELOCIDADE SUFICIENTEMENTE BAIXA NO VASO PARA PERMITIR A SEPARAÇÃO DAS FASES. TAMBÉM DEVE SER PREVISTO UM TEMPO DE RESIDÊNCIA ADEQUADO PARA A FASE LÍQUIDA SEPARADA.

UM BOM DIMENSIONAMENTO PODE REDUZIR O ARRASTE A 5% NO MÁXIMO, PORÉM SE O OBJETIVO É ARRASTE MÁXIMO DE 1%, DEVE SER INSTALADO “DEMISTER” NO VASO. (ver artigo “Cure liquid carryover from compressor suction drums” publicado na Hydrocarbon Processing de outubro de 2004 páginas 77-84)

O DEMISTER (“de-mist”) É UM CONJUNTO DE TELAS QUE AUMENTAM A EFICIÊNCIA DE SEPARAÇÃO, PORQUE AS GOTÍCULAS AO SE CHOCAREM CONTRA AS MALHAS DAS TELAS AUMENTAM DE TAMANHO E CAEM SUBAÇÃO DA GRAVIDADE.

COM ISSO PODEM SER USADAS VELOCIDADES MAIORES PARA A FASE GÁS, REDUZINDO ASSIM O TAMANHO DO VASO.

GERALMENTE OS VASOS COM MAIORES VOLUMES DE MATERIAL ACUMULADO DEVEM SER HORIZONTAIS, COMO UM VASO DE REFLUXO DE UMA TORRE DE DESTILAÇÃO.

POR OUTRO LADO, VASOS DE SEPARAÇÃO COMO OS INTERESTÁGIOS DOS COMPRESSORES, SÃO VASOS VERTICAIS.

A DECANTAÇÃO DE UMA GOTÍCULA SUBAÇÃO DA GRAVIDADE OCORRE EM MOVIMENTO ACELERADO ATÉ QUE A FORÇA DE ATRITO CRIADA PELO FLUIDO SOBRE A GOTÍCULA VAI CRESCENDO À MEDIDA QUE A VELOCIDADE VAI CRESCENDO E IGUALA AO PESO DA GOTÍCULA.

A PARTIR DAÍ A DECANTAÇÃO SE DÁ COM VELOCIDADE CONSTANTE, CHAMADA DE VELOCIDADE TERMINAL DE DECANTAÇÃO.

PARA PARTÍCULAS ESFÉRICAS A VELOCIDADE CONSTANTE DE DECANTAÇÃO É CALCULADA PELA EXPRESSÃO:

$$4/3 [(g.D/C) \cdot (\rho_l - \rho_v) / \rho_v]^{1/2} \quad \text{onde}$$

D = diâmetro da partícula

ρ_l = massa específica do líquido

ρ_v = massa específica do vapor

C = coeficiente de arrasto que depende do n° de Reynolds da partícula.

BROWN E SOUDERS PROPUSERAM A SEGUINTE EQUAÇÃO EMPÍRICA PARA CALCULAR A VELOCIDADE SUPERFICIAL DE ARRASTO v_p DAS GOTÍCULAS ENTRE OS PRATOS DE TORRES DE DESTILAÇÃO, ABSORÇÃO E “STRIPPING”.

$$v_p = K \cdot [(\rho_l - \rho_v) / \rho_v]^{1/2}$$

O VALOR MÉDIO PADRÃO DE K UTILIZADO PARA MUITOS PROJETOS SATISFATÓRIOS É DE:

$$K = 0,0692 \text{ m/s} \quad \text{OU} \quad K = 0,227 \text{ ft/s}$$

A SEMELHANÇA ENTRE AS DUAS EXPRESSÕES, REVELA QUE A SEGUNDA PODE SER UTILIZADA PARA CALCULAR A VELOCIDADE TERMINAL DE DECANTAÇÃO OU VELOCIDADE PADRÃO OU VELOCIDADE PADRÃO DO VAPOR (GÁS), QUE COINCIDE COM A DE ARRASTO INCIPIENTE DAS GOTÍCULAS.

SEGUNDO SCHEIMAN, A APLICAÇÃO PRÁTICA DE UM SEPARADOR LÍQUIDO-VAPOR HORIZONTAL É LIMITADA À REMOÇÃO DAS GOTÍCULAS CUJO TAMANHO ESTEJAM NA FAIXA DE 50 A 100 MICRONS, O QUE CORRESPONDE A UMA VELOCIDADE MÁXIMA DE 55 A 80% DA VELOCIDADE TERMINAL DE DECANTAÇÃO.

GENERALIZANDO PODE-SE DIZER QUE A VELOCIDADE MÁXIMA PERMISSÍVEL PARA O VAPOR SERÁ SEMPRE UMA FRAÇÃO “f” DA VELOCIDADE PADRÃO.

OS VALORES DE f RECOMENDADOS NA LITERATURA SÃO:

VASO VERTICAL SEM DEMISTER	0,15
VASO VERTICAL COM DEMISTER	1,0 (0,75 é muito usado)
VASO HORIZONTAL S/ DEMISTER	0,16
VASO HORIZONTAL C/ DEMISTER	0,90

A PERDA DE CARGA INTRODUZIDA PELOS “DEMISTERS” É EM TORNO DE UMA POLEGADA DE ÁGUA.

TEMPO DE RESIDÊNCIA DE LÍQUIDO EM MINUTOS

VASOS VERTICAIS	5
VASOS HORIZONTAIS EM GERAL	10
VASOS DE REFLUXO DE TORRES	5 P/ REFLUXO + 10 P/PROD.
VASOS PULMÃO	5
VASOS ALIMENTAÇÃO DE FORNOS	30 OPERANDO MEIO CHEIO
Vasos de sucção de compressores	Volume mínimo de 10 vezes a vazão de líquido/minuto

5.2 VASOS SEPARADORES VERTICAIS

Têm como característica permitir que toda a sua área transversal seja utilizada pela corrente de vapor (gás).

A secção transversal do vaso pode ser calculada através da vazão de gás, da velocidade padrão e do fator “ f ” escolhido.

Com o tempo de residência para o líquido e a vazão de líquido, calcula-se o volume necessário para o líquido e a conseqüente altura para o líquido.

A relação ALTURA (fora os tampos)/DIÂMETRO deve ficar entre 2,5 E 5. É USUAL A RELAÇÃO IGUAL A 3.

Nos casos onde o volume de líquido é muito pequeno deve-se usar como altura mínima de líquido de 1,5 A 2 ft.

Quando o volume necessário para atender ao tempo de residência do líquido, levar a uma altura $> 5D$, deve-se optar por VASO HORIZONTAL.

O Demister tem espessuras de 4 a 12", sendo a de 6" a mais usada. Deve ficar a 12" do topo do vaso, tendo um espaço de "disengaging" a montante do Demister de 6 a 18".

5.3 VASOS SEPARADORES HORIZONTAIS:

O PONTO CHAVE É OPERAR COM BAIXA VELOCIDADE DA MISTURA, OBJETIVANDO DAR TEMPO SUFICIENTE PARA QUE AS GOTÍCULAS POSSAM DECANTAR ANTES DE SAIREM DO SEPARADOR.

A SITUAÇÃO LIMITE É OBTIDA QUANDO:

TEMPO DE PERCURSO DO GÁS AO TEMPO DE DECANTAÇÃO
LONGO DO SEPARADOR = DAS GOTÍCULAS.

PARTINDO DESSA PREMISSA PODE-SE CALCULAR O DIÂMETRO DO VASO:

Sendo: L = comprimento do vaso horizontal sem os tampos

h = fração do diâmetro que será o espaço para o vapor

y = fração da secção circular do vaso

v = velocidade do vapor ao longo do vaso (ft/s)

Qv = vazão volumétrica da fase vapor (ft³/s)

D = diâmetro do vaso (ft)

tempo para a separação = $(L/v) = (h.D)/(v.f)$

Como v pode ser calculada pela equação da continuidade assim:

$$v = (Q)/(0,7854.y.D^2)$$

Substituindo na equação acima e explicitando D, teremos:

$$D = [1,2732.(h/y).(Q)/(L/D).f.v]^{1/2}$$

PARA ESCOLHER A RELAÇÃO L/D, PODE-SE USAR COMO GUIA PARA UM PROJETO ECONÔMICO OS SEGUINTE VALORES RECOMENDADOS ABAIXO:

PRESSÃO DE OPERAÇÃO (kPa man)	L/D RECOMENDADA
ATÉ 1700	3
ENTRE 1700 E 3500	4
MAIS DE 3500	5

EM ALGUNS CASOS É A RETENÇÃO DE LÍQUIDO QUE FIXA O DIÂMETRO DE UM SEPARADOR HORIZONTAL.

FAÇAMOS O CÁLCULO DO VOLUME NECESSÁRIO PARA A FASE LÍQUIDA.

$$(1 - y). 0,7854.D^2.L = Q . Tr$$

Tr = tempo de residência (min).

Multiplicando e dividindo por D o primeiro membro da equação, teremos:

$$D = [(1,2732.(Q). (Tr)/(1 - y).(L/D)]^{1/3}$$

A SOLUÇÃO DO DIMENSIONAMENTO ESTÁ NA SOLUÇÃO (GRÁFICA OU ANALÍTICA) QUE ATENDA ÀS EQUAÇÕES PARA A FASE GÁS E PARA A FASE LÍQUIDA.

IMPORTANTE:

AS SAIDAS DE LÍQUIDO DEVEM TER ANTI-VORTEX

OS VOLUMES DOS TAMPOS DEVEM SER DESPREZADOS NOS CÁLCULOS

A ALTURA DA SECÇÃO DO VAPOR DE SER MAIOR QUE 400 mm.

O NÍVEL DE LÍQUIDO MÍNIMO DE OPERAÇÃO DEVE FICAR A UNS 200 mm DO FUNDO DO VASO HORIZONTAL.

5.4 VASOS SEPARADORES LÍQUIDO-LÍQUIDO

CONSIDEREMOS UM PROCESSO CONTÍNUO DE SEPARAÇÃO DE DOIS LÍQUIDOS IMISCÍVEIS COM MASSAS ESPECÍFICAS DIFERENTES.

A MISTURA É ALIMENTADA NUMA EXTREMIDADE DO VASO HORIZONTAL E AS DUAS FASES SE SEPARAM DURANTE A PASSAGEM PELO VASO EM BAIXA VELOCIDADE, SAINDO A FASE MAIS LEVE PELO TOPO E A MAIS PESADA PELO FUNDO DO VASO.

O DIMENSIONAMENTO DO VASO DECANTADOR É FEITO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA NECESSÁRIO PARA HAVER A SEPARAÇÃO DAS FASES E DEPENDE DA DIFERENÇA DE MASSA ESPECÍFICA DOS DOIS LÍQUIDOS E DA VISCOSIDADE DA FASE CONTÍNUA.

CONSIDERANDO QUE OS LÍQUIDOS SÃO LIMPOS E NÃO FORMA EMULSÃO, O TEMPO DE SEPARAÇÃO PODE SER ESTIMADO DA SEGUINTE EQUAÇÃO EMPÍRICA:

ONDE t = tempo de separação em horas

ρ_A e ρ_B = massas específicas dos líquidos A e B em kg/m^3

μ = viscosidade da fase contínua em cP.

A RAZÃO L/D PARA ESSES VASOS USA-SE 5.

PARA CÁLCULO DAS ALTURAS DAS FASES DEVE-SE FAZER UM BALANÇO DE PRESSÕES OU HIDROSTÁTICO.

O decantador líquido-líquido deve ter um tempo de residência de 5 a 10 minutos.

O princípio de funcionamento e a base para o dimensionamento do decantador é: A VELOCIDADE DA FASE CONTÍNUA TERÁ DE SER MENOR QUE A VELOCIDADE DE DECANTAÇÃO DAS GOTAS DA FASE DISPERSA.

A velocidade da fase contínua é calculada usando-se a área de interface:

$$V_c = (Q_c/A_i) < V_d \quad \text{onde:}$$

V_c = velocidade da fase contínua (m/s)

Q_c = vazão volumétrica da fase contínua (m³/s)

A_i = área de interface (m²)

V_d = velocidade de decantação da fase dispersa (m/s)

Para determinar a velocidade de decantação é usada a lei de Stokes:

$$V_d = d_d^2 \cdot g \cdot (\rho_d - \rho_c) / (18 \cdot \mu_c) \quad \text{onde:}$$

V_d = velocidade de decantação das gotas da fase dispersa (m/s)

d_d = diâmetro da gota (m)

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

ρ_d = massa específica da fase dispersa (kg/m³)

ρ_c = massa específica da fase contínua (kg/m³)

μ_c = viscosidade da fase contínua [(N. s)/m²]

Esta equação é usada para calcular a velocidade de decantação com um tamanho de gota de 150μ , que é bem abaixo dos tamanhos de gota encontrados normalmente nas cargas processadas nos vasos decantadores.

Os separadores líquido-líquido são projetados para velocidade de decantação entre 2 e 3 in/min (0,00085 m/s e 0,00127 m/s) (Walas)

IMPORTANTE:

Nos decantadores cilíndricos horizontais a área de interface dependerá da posição da interface.

$$\text{Se } w = 2(2.r.z - z^2)^{1/2}$$

w = largura da interface (m)

z = altura da interface partindo da base do vaso horizontal (m)

L = comprimento do cilindro (m)

r = raio do cilindro (m)

Nos decantadores com forma de cilindros verticais a área de interface $A_i = 3,1416 \cdot r^2$ (m²).

IMPORTANTE:

Ciclones separadores podem ser projetados como interno dos vasos, com capacidade de reter 95% de partículas com 5 microns. Usualmente só as gotas maiores de 50 microns precisam ser removidas.

5.5 VASOS COALESCEDORES:

É comum na Indústria Petroquímica, de Refino de Petróleo entre outras, a formação de dispersões e emulsões que contaminam produtos e reagentes. É o caso de arraste de solvente no extrato ou no refinato, devido à busca de otimização do processo de extração. Dispersões e emulsões são frequentemente tratadas por COALESCIMENTO. O sistema consta de um pré-filtro para reter sólidos, e um meio poroso onde as pequenas gotas são combinadas formando as “grandes gotas” que em seguida vão se sedimentar, separando-se do produto.

Assim, o sistema se compõe de três estágios: pré-filtro, coalescedor e separador por decantação.

Os estágios de coalescimento e decantação podem ser configurados verticalmente ou horizontalmente.

O meio coalescedor começa com poros de pequeno diâmetro (0,2 a 50 microns) e em seguida, como num segundo estágio vão se tornando maiores para permitir mais espaço para as “gotas maiores” resultantes da junção das pequenas gotas. Torna-se uma suspensão de gotas ampliadas (500 a 5.000 microns).

Os COALESCEDORES VERTICAIS são usados para separação água dispersa num fluxo de hidrocarbonetos onde a tensão superficial seja menor que 3 dines/cm.

Os COALESCEDORES HORIZONTAIS também são usados para separação de água dispersa num fluxo de hidrocarbonetos onde a tensão superficial seja menor que 3 dines/cm. Podem também remover contaminantes não aquosos em fluxos aquosos ou de outros líquidos.

Após o elemento coalescedor há uma zona de sedimentação que por meio de diferença de densidade ocorre separação das “gotas maiores” formadas pelo coalescimento.

5.6 RECOMENDAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO MECÂNICO DOS VASOS DE PRESSÃO

Para TEMPERATURAS de projeto entre -29°C E 340°C, adotar como temperatura de projeto 35°C acima da temperatura de operação.

A PRESSÃO máxima de operação é considerada 2 kgf/cm² acima da pressão normal de operação. Para vasos operando de 0-10 psig e 600 a 1.000°F a pressão de projeto deve ser de 40 psig. Usar como tensão permitida de trabalho ¼ da tensão máxima do material.

Para operações com vácuo as pressões de projeto são 15 psig e vácuo absoluto.

Espessura mínima da parede para rigidez: ¼" para até 42". 0.32" de 42 a 60" e 0.38" acima de 60" de diâmetro.

A PRESSÃO DE PROJETO DEVERÁ SER 10% ACIMA DA PRESSÃO MÁXIMA DE OPERAÇÃO OU ENTRE 1 E 2 kgf/cm² ACIMA DESSA PRESSÃO, USANDO-SE A QUE FOR MAIOR.

A SOBRE ESPESSURA DE CORROSÃO DEVE SER:

0,35 in PARA CONDIÇÕES CONHECIDAS DE CORROSÃO

0,15 in PARA FLUIDOS NÃO CORROSIVOS

0,06 in PARA VASOS DE VAPOR E RESERVATÓRIOS DE AR.