ABSORÇÃO E O CÁLCULO DE COLUNA DE RECHEIO

ABSORPTION AND CALCULATION OF THE FILLING COLUMN

Cleissie Drienie Nunes Pereira dos Santos[1]

Jonatas Tavares de Freitas Santana[2]

Luiz Mário Nelson de Góis[3]

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise do processo de absorção e dimensionamento de uma torre de recheio. Desta forma serão abordados os conceitos de equilíbrio líquido-gás, os números de estágios teóricos, desenvolvimento dos balanços de massa, equação da linha de operação e equação de Kremser, culminando na equação da altura da coluna de recheio para operação e projeto industrial. Neste trabalho foi realizado um estudo sobre os conceitos de absorção, colunas de pratos e recheios e equilíbrio de fases e sobre o dimensionamento da coluna de recheio e em decorrentes projetos de pesquisas relacionados ao tema.

Palavras-chave: Absorção, números de estágios teóricos, altura da torre de recheio.

Abstract: The present work aims to carry out an analysis of the absorption process and dimensioning of a filling column. In this way, the concepts of liquid-gas equilibrium, the number of theoretical stages, development of mass balances, the equation of the operating line and the Kremser equation will be addressed, culminating in the equation of the height of the filling column for operation and industrial design. In this work, a study was carried out on the concepts of absorption, columns of plates and filling and phase equilibrium and on the sizing of the filling column and in resulting research projects related to the theme.

Keywords: Absorption, numbers of theoretical stages, height of the filling column.

[1] Graduanda em Engenharia Química. Escola de Ciências Exatas e Tecnológicos, Universidade Salvador – UNIFACS. E-mail: cleissiedriennie@hotmail.com

[2] Graduando em Engenharia Química. Escola de Ciências Exatas e Tecnológicos, Universidade Salvador – UNIFACS. E-mail: jonatastavares00@gmail.com

[3] Doutor com especialidade em Operações de Separação e Mistura. Escola de Ciências Exatas e Tecnológicos, Universidade Salvador – UNIFACS, orientador do Trabalho de Conclusão de Curso. E-mail: luiz.gois@unifacs.br

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho será apresentado sobre o conceito e funcionamento de uma coluna de absorção, como calcular o número de estágios teóricos (NETS), a vazão mínima e por fim, projetar a altura da coluna de recheio.

1.1 CONTEXTO

A absorção é a operação unitária que se baseia na separação de componentes em uma mistura gasosa por meio do contato dessa mistura com uma fase líquida, também referida como solvente. (AZEVEDO; ALVES, 2013; LEITE et al., 2005; SHIBATA, 2017);

Figura 01: Torres de Absorção

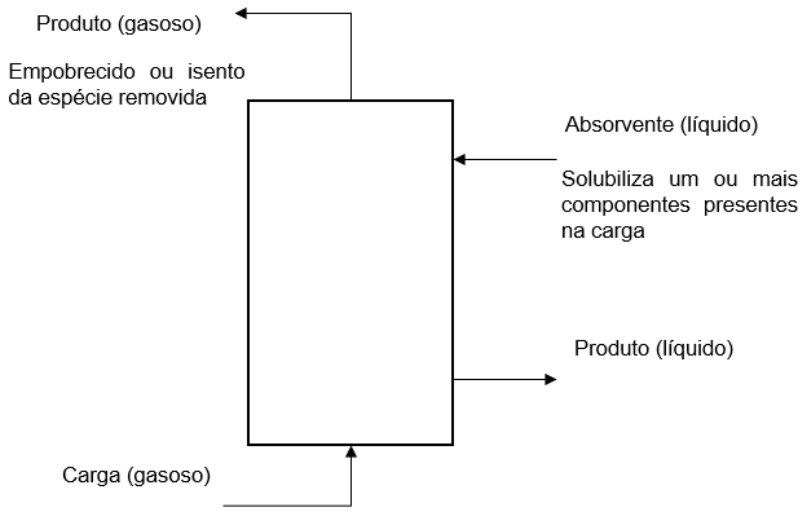
Fonte: Azevedo e Alves (2013).

A absorção consiste em retirar um componente de uma corrente gasosa, o absorvente líquido tem uma certa afinidade química com soluto do gás e à medida que eles entram em contato o líquido transfere esse componente da corrente gasosa.

Absorção refere-se à transferência de um componente da fase gasosa para a líquida, na qual ele é solúvel. A absorção é, sem dúvida, a operação de purificação de gases mais importante e mais utilizada em larga escala no âmbito industrial e sua importância se dá ao seu alto uso em escala comercial e por isso acabou se tornando objeto de estudo e para isso deve-se entender desde seu funcionamento, isto é, como ocorre essa absorção, a suas variações como tipos de coluna e também o que é necessário para que essa operação aconteça. (KOHL; NIELSEN, 1997);

No processo o líquido desce em cascata por uma série de pratos onde entra em contato com o gás impuro, removendo o soluto deste. O gás limpo flui no sentido ascendente. O líquido é pulverizado e remove o soluto do gás que flui no sentido ascendente na câmara. Este processo, pode ser observado através da Figura 02.

Figura 02: Esquema de um funcionamento das absorvedoras.



Fonte: Autoria própria (2022).

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente tema foi escolhido devido a sua complexidade e relevância nas operações unitárias e ele tem como propósito uma revisão bibliográfica do dimensionamento de uma coluna de recheio por absorção, através da resolução de problemas ligados a projetos e operações deste equipamento, ao decorrer deste texto será mostrada a importância dessa operação unitária e como ela é usada em alguns tipos de processos.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo do presente Trabalho de Conclusão de Curso é fazer uma revisão bibliográfica sobre o dimensionamento de uma torre de absorção, utilizando o método NETS (Número de Estágios Teóricos) e adquirir conhecimento sobre o cálculo da altura de colunas de recheio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente revisão bibliográfica será feita uma breve apresentação onde serão abordados detalhes sobre o funcionamento das absorvedoras, a sua utilidade e o cálculo da altura de recheio.

2.1 FUNCIONAMENTO DAS ABSORVEDORAS

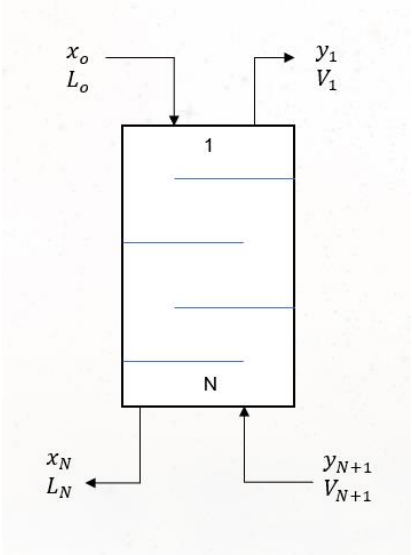
De modo geral, a torre de absorção, o gás se desloca da base da coluna em direção a parte inferior da torre com as impurezas nele contidas, enquanto o líquido começa a capturar as impurezas do gás e transporta-las para o fundo da torre para poder acontecer a coleta. Geralmente as absorvedoras podem ser de pratos ou de recheio.

2.1.1 COLUNAS DE PRATOS

Nesse equipamento ocorre um contato contínuo entre o líquido e o gás onde são constituídos uma série de andares com perfuração por onde passa a corrente gasosa ascendente borbulhando numa corrente líquida descendente.

A operação deste tipo de equipamento depende do tipo de prato escolhido, pode ser o perfurado ou campanula. Sendo os pratos perfurados os mais amplamente utilizados. Essa operação ocorre na interface formada na superfície dos pratos, a mistura ocorre de forma desorganizada e caótica, formando uma espuma. A velocidade de escoamento da corrente gasosa deve ser rigorosamente controlada de maneira que evite problemas, como o gotejamento da fase líquida de um prato para o prato seguinte, e inundação, por exemplo, não ocorram (AZEVEDO; ALVES, 2013; PERRY; GREEN, MALONEY, 1997). Como pode ser observado na Figura 03, logo abaixo. Colunas de pratos geralmente são utilizadas quando a coluna de absorção precisa ter um diâmetro superior a cerca de 1m.

Figura 03: Esquema de uma Coluna de Pratos

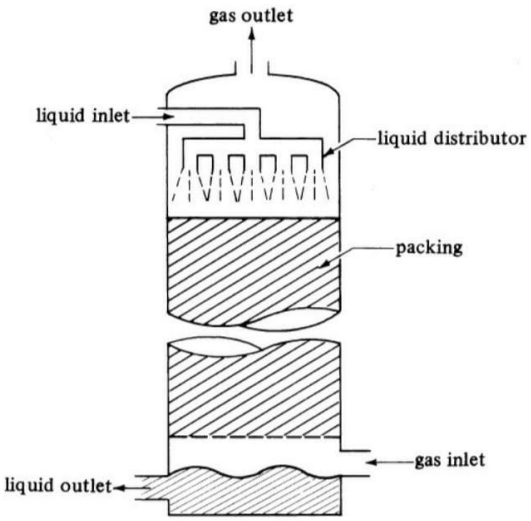


Fonte: Autoria própria (2022).

2.1.2 COLUNAS DE RECHEIO

Os recheios têm como característica principal elevada área por unidade de volume, o que é o ideal para otimizar qualquer processo de transferência de massa (Humphrey & Keller, 1997). Isto é devido a sua grande área superficial permite um maior contato entre as correntes de líquido e gás. Nesse tipo de coluna, geralmente uma corrente líquida irá se espalhar em uma grande área superficial com um recheio, possibilitando um melhor contato com a corrente gasosa que vem a seu encontro, isto acontece normalmente em contracorrente. A escolha do tipo de recheio depende de algumas características para obter um melhor desempenho, que vão desde o nível de porosidade que é um aspecto técnico, a baixo custo que é um aspecto econômico. Entre as vantagens desse equipamento podemos citar dimensões reduzidas, facilidade de manutenção, opera com fluidos corrosivos, etc. Existe também um procedimento para o seu dimensionamento de colunas recheadas. Sendo assim, na Figura 04 é possível ver a representação de uma coluna recheio. Geralmente, coluna de recheio é utilizada quando se precisa de características como: dimensões reduzidas, baixa queda de pressão, possibilidade de operação com fluidos, maior contato entre as fases, baixo custo, etc.

Figura 04: Representação de uma coluna de recheio



Fonte: GEANKOPLIS (1998).

3. METODOLOGIA

Nesta parte de metodologia serão abordados detalhes sobre como ocorre o equilíbrio líquido-gás, como se calcula o número de estágios teóricos (NETS) na absorvedora, a construção da linha de operação, a definição de vazão mínima de absorvente e a equação de kremser. Além disso falará sobre o coeficiente global, o coeficiente de filme da transferência de massa e sobre a equação geral da torre de absorção, necessária para dimensionar a torre de recheio.

3.1 EQUILÍBRIO LÍQUIDO-GÁS

Antes de iniciar um projeto de torre de absorção é necessário fazer uma breve revisão sobre alguns conceitos que serão necessários para que se tenha uma base de como uma torre de absorção é projetada e operada. Um desses conceitos é o de equilíbrio líquido-gás.

Baseado na Lei de Henry, tem-se a equação 1:

$$P_a = HX_a \tag{1}$$

Onde, P_a: Pressão parcial; H: Constante de henry; X_a: Fração molar na fase líquida; Y_a: Fração molar na fase gasosa;

Partindo do conceito de pressão parcial, parcial que é quando se tem a pressão de um gás dentro de um recipiente quando está em uma mistura gasosa, tem-se que:

$$Y = \frac{P_a}{P} \tag{2}$$

Daí:

$$Y_a = \frac{HX_a}{P} \tag{3}$$

Por fim, tem-se a equação 4:

$$Y_a = HX_a \tag{4}$$

Que representa uma relação entre Y_a e X_a.

3.2 CÁLCULO DO NÚMERO DE ESTÁGIOS TEÓRICOS (NETS) EM ABSORVEDORAS

O cálculo do número de estágios teóricos em absorvedoras pode ser obtido através de métodos gráficos ou utilizando métodos matemáticos, como a equação de Kremser para obter o número de estágios teóricos mínimos. Sabe-se que o número de estágios teóricos é a quantidade de estágios requerida para poder efetuar o serviço proposto, considerando a composição do soluto na alimentação e a desejada na saída.

3.2.1 BALANÇO DE MATERIAL PARA UM ESTÁGIO ÚNICO

O balanço material pode ser obtido analisando-se o contato entre as correntes, observando o sistema a seguir, pode-se ser feito um balanço material considerando a entrada e saída dos componentes neste sistema, como descrito na Figura 05.

Balanço por componente:

$$L_o X_o + V_2 Y_2 = V_1 Y_1 + L_1 X_1 \tag{5}$$

Da definição do componente inerte, pode-se afirmar que:

$$V = V' + Vy \tag{6}$$ e $$L = L' + Lx \tag{7}$$

Ou seja,

$$V = \frac{V'}{1-y} \qquad (8) \qquad \text{e} \qquad L = \frac{L'}{1-x} \qquad (9)$$

Sendo, V': Vazão do inerte gasoso; L': Vazão do inerte líquido, X: Fração molar na fase líquida; Y: Fração molar na fase gasosa; V: Vazão do gás na entrada; L: Vazão do líquido na entrada;

Considerando que:

$\left[\frac{L'}{1-x_o}\right]: L_o;\ \left[\frac{V'}{1-y_2}\right]: V_2;\ \left[\frac{V'}{1-y_1}\right]: V_1;\ \left[\frac{L'}{1-x_1}\right]: L_1$

Substituindo na equação 5, tem:

$$\left[\frac{L'}{1-x_o}\right]x_o + \left[\frac{V'}{1-y_2}\right]y_2 = \left[\frac{V'}{1-y_1}\right]y_1 + \left[\frac{L'}{1-x_1}\right]x_1 \qquad (10)$$

E também pode ser considerada equação do balanço de massa em uma absorvedora.

3.2.2 EQUAÇÃO DA LINHA DE OPERAÇÃO

A linha de operação é uma equação que estabelece uma relação entre as composições de gás e líquido em qualquer sessão da coluna, cujo a sua representação se dar por meio de um gráfico.

Partindo do balanço por componentes “n” nos primeiros estágios:

$$L_oX_o + V_{n+1}Y_{n+1} = V_1Y_1 + L_nX_n \qquad (11)$$

Isolando o Y_{n+1}, passando V_{n+1} dividindo L_0X_0 subtraindo, tem que:

$$Y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}}x_N + \frac{V_1Y_1 - L_oX_o}{V_{n+1}} \qquad (12)$$

Sendo demonstrado como é feita a linha de operação na Figura 06:

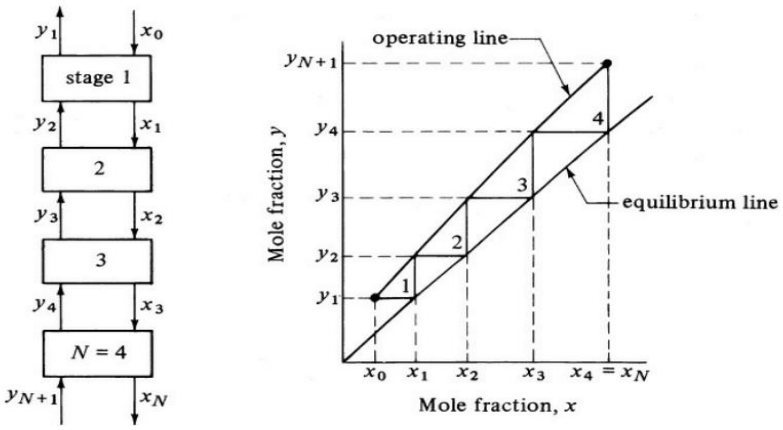
Sendo, $Y_{n+1} = f(X_n)$

$\frac{L_n}{Y_{n+1}}$: coeficiente angular (variável); $\frac{V_1Y_1 - L_oX_o}{V_{n+1}}$: coeficiente linear;

O método gráfico para a determinação do número de estágios teóricos em absorvedoras pode ser mostrado na Figura 05, onde tem-se uma linha de operação

que pode ser plotada utilizando a equação 12 e a linha de equilíbrio pode ser plotada utilizando a equação 4, através disso pode ser obtido o número de estágios teóricos, traçando linhas verticais e horizontais partindo da linha de equilíbrio, onde cada vez que a linha tocar na linha de operação, tem-se um estágio definido.

Figura 05: Linha de Operação



Fonte: GEANKOPLIS (1998).

O comportamento da linha de operação baseado na equação da reta, isto é, $Y = a_x + b$, à medida que o coeficiente angular perde o soluto ocorre uma variação no gráfico. Quanto mais for passando de estágio, a corrente de líquido irá ganhar soluto e a sua vazão também irá aumentar e a corrente gasosa irá perder soluto, e com isso a vazão irá diminuir.

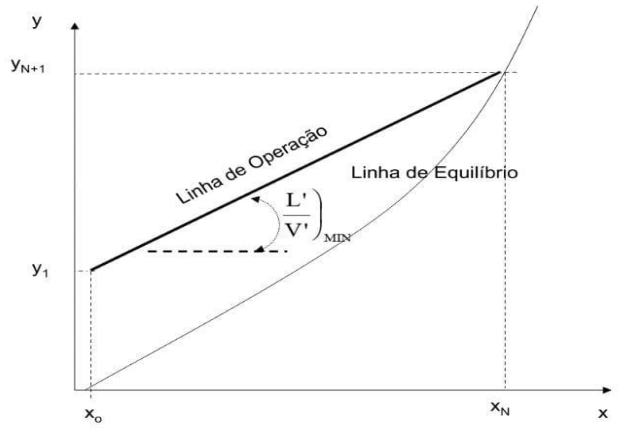
3.3 CÁLCULO DA VAZÃO MÍNIMA DE ABSORVENTE

Na absorção acontece a transferência do soluto da fase gasosa para a fase líquida. Então, na fase líquida o solvente entrará puro e sairá o solvente mais soluto. Como o objetivo principal é tratar uma corrente G que está sendo alimentada, a partir disso tem-se um questionamento: “qual a quantidade mínima de solvente será necessária para retirar um percentual de soluto da fase gasosa?” “quanto de L isento de soluto precisa para promover essa separação?”

Para entender melhor, sabe-se que se o valor de L aumentar implicará numa maior inclinação da linha, afastando-se da linha de equilíbrio e diminuindo o número

de estágio. Por outro lado, a diminuição de L implicará em uma inclinação menor da linha de operação, tendo assim um sistema com infinitos estágios.

Figura 06: Gráfico de vazão de absorvente mínima



Fonte: Nota de aula de operações unitárias II (2021) / UNIFACS

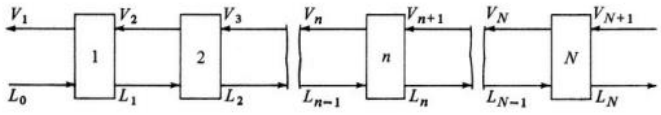
Por fim, é necessário encontrar um valor para L'_{min} que é a vazão mínima de absorvente. Como mostrada na Figura 07, onde y_{N+1} toca a linha de equilíbrio, obtém-se o Xn que pode ser calculado através da equação abaixo.

$$X_n = \frac{soluto}{soluto + L'min} \quad (13)$$

3.4 EQUAÇÃO DE KREMSER

A equação de Kremser é utilizada para calcular o número mínimo de estágios em soluções diluídas, tendo como condição V e L constantes.

Figura 07: Representação de N estágios do método NETS



Fonte: GEANKOPLIS (1998).

A corrente de entrada de L é L_0 e a corrente de entrada V é V_{N+1};

V_{N+1} sua unidade de medida é mol/h entrando e L_N também é mol/h, porém saindo do processo e o M é considerado o fluxo total:

$$L_o + V_{N+1} = L_N + V_1 = M \quad (14)$$

$$L_o x_o + V_{N+1} y_{N+1} = L_N x_N + V_1 y_1 = M x_M \quad (15)$$

(x e y são frações molares); O primeiro balanceamento total nos primeiros n estágios:

$$L_o + V_{N+1} = L_N + V_1 \quad (16)$$

Balanceamento de componentes nos primeiros n estágios:

$$L_o x_o + V_{n+1} y_{n+1} = L_n x_n + V_1 y_1 \quad (17)$$

Resolvendo a equação para y_{n+1}:

$$y_{n+1} = \frac{L_n x_n}{V_{n+1}} + \frac{v_1 y_1 - L_o x_o}{V_{n+1}} \quad (18)$$

É uma equação de equilíbrio de materiais, conhecida como linha de operação. Os termos V_1, y_1, L_0 e x_0 são constantes e podem ser obtidas nas equações anteriores. Quando as vazões V e L em um processo de contracorrente são constantes, a equação da linha de operação é considerada reta.

$$L_o x_o + V_{N+1} y_{N+1} = L_N x_N + V_1 y_1 \quad (19)$$

Rearranjando a equação 16:

$$L_N x_N - V_{N+1} y_{N+1} = L_o x_o - V_1 y_1 \quad (20)$$

Rearranjando a equação 14:

$$L_o x_o - V_1 y_1 = L_n x_n - V_{n+1} y_{n+1} \quad (21)$$

Igualando a equação 17 e 18, tem-se:

$$L_n x_n - V_{n+1} y_{n+1} = L_N x_N - V_{N+1} y_{N+1} \quad (22)$$

Como y_{n+1} e x_{n+1} estão em equilíbrio e a linha de equilíbrio é reta, $y_{n+1}=m_{xn+1}$. Substituindo mx_{n+1} por y_{n+1} e considerando A=L/mV:

$$x_{n+1} - A x_n = \frac{y_{N+1}}{m} - A x_N \quad (23)$$

Para absorção:

$$N = \frac{log\left[\frac{y_{N+1} - m x_o}{y_1 - m x_o}\left(1 - \frac{1}{A}\right) + \frac{1}{A}\right]}{\log A} \quad (24)$$

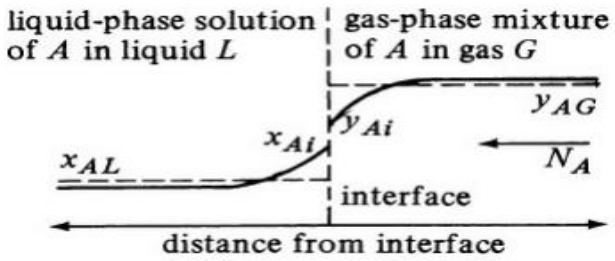
Quando A=1:

$$N = \frac{x_o - x_N}{x_N - (y_{N+1}/m)} \quad (25)$$

3.5 INTRODUÇÃO A TRANSFERÊNCIA DE MASSA E A EQUAÇÃO GERAL DA TORRE DE RECHEIO.

Nesta parte, tem-se como o objetivo descrever o conceito da transferência de um soluto A através de duas fases fluidas. Uma fase fluida gasosa e uma fase gasosa líquida, onde as duas fases estão em contato direto uma com a outra. Sabe-se que para ocorrer o fenômeno da transferência de massa é necessário que haja um gradiente de concentração em cada fase, fazendo com que a transferência de massa aconteça. Além de compreender a transferência de massa que ocorre, será necessário desenvolver os conceitos de coeficientes de película e filme. Sua ligação com a equação geral da coluna de recheio para cálculos das frações molares de X, Y na interface e no equilíbrio, com o objetivo de encontrar uma equação que relacione a altura da coluna de recheio com os coeficientes de película e as frações molares.

Figura 08: Perfil de concentração do Soluto A difundindo-se por duas fases



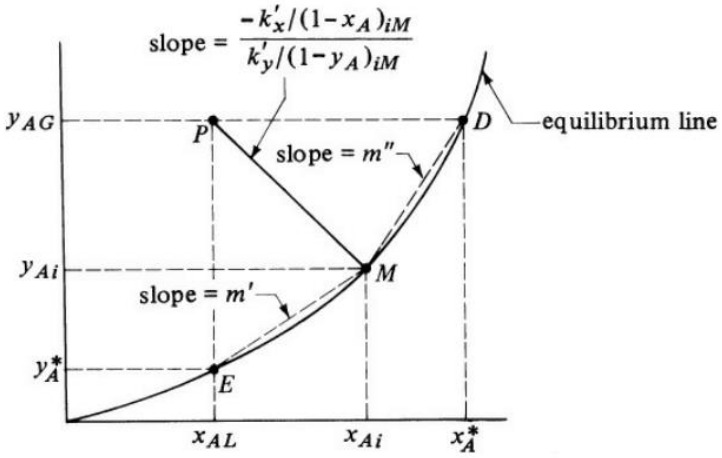
Fonte: GEANKOPLIS (1998).

3.6 TRANSFERÊNCIA DE MASSA UTILIZANDO COEFICIENTE DE FILME

Nesta parte da transferência de massa utilizando coeficientes de filme, sabe-se que essa transferência ocorre em torres de absorção e que as duas fases estão em contato direto uma com a outra. Na interface entre o gás e o líquido ainda existe equilíbrio em meio as variações de concentração que ocorrem na interface. Sendo assim, as relações de equilíbrio são importantes para determinar perfis de

concentrações e obter taxas de transferência de massa em uma torre de absorção. Através das concentrações de interface que podem ser obtidas plotando um gráfico (x,y) como pode ser visto na Figura 09, o ponto P representa as concentrações em um ponto qualquer e o M as concentrações na interface, considerando que ocorre uma difusão do gás para o líquido. Para efeitos de estudo considera-se que os coeficientes de filmes e global são conhecidos, já que é necessário um estudo detalhado em laboratório para ser obtidos.

Figura 09: Forças motrizes de concentração e concentrações de interface em transferência de massa



Fonte: GEANKOPLIS (1998).

Sabe-se que o fluxo é igual tanto para x como para y, como pode ser visto na equação 26:

$$N_A = k'_y(y_{AG} - y_{Ai}) = k'_x(x_{Ai} - x_{AL}) \tag{26}$$

Rearranjando a equação 26, tem-se:

$$-\frac{k'_x}{k'_y} = \frac{(y_{AG}-y_{Ai})}{(x_{Ai}-x_{AL})} \tag{27}$$

$$k_y = \frac{k'_y}{(1-y_A)_{iM}} \tag{28}$$

$$k_x = \frac{k'_x}{(1-x_A)_{iM}} \tag{29}$$

Através das equações 30 e 31, é possível determinar os valores médios de x e y:

$$(1-y_A)_{iM} = \frac{(1-y_{Ai})-(1-y_{AG})}{ln\left[\frac{1-y_{Ai}}{1-y_{AG}}\right]} \quad (30)$$

$$(1-x_A)_{iM} = \frac{(1-x_{AL})-(1-x_{Ai})}{ln\left[\frac{1-x_{AL}}{1-x_{Ai}}\right]} \quad (31)$$

Por fim:

$$N_A = \frac{k'_y}{(1-y_A)_{iM}}(y_{AG}-y_{Ai}) = \frac{k'_x}{(1-x_A)_{iM}}(x_{Ai}-x_{AL}) \quad (32)$$

3.6.1 COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA GLOBAL

Em geral, os coeficientes de transferência de massa são difíceis de medir experimentalmente, porém em ocasiões em que a concentração de uma fase seja tão pequena que possa ser desprezada. Como isso, sabe-se que a transferência de massa global pode ser medida com base na fase gasosa ou líquida.

Define-se o fluxo de transferência de massa também em função dos coeficientes globais e das concentrações de equilíbrio.

$$N_A = K'_y(y_A - y_A^*) \quad (33)$$

Sendo K'_y a força motriz geral da fase gasosa e y_A^* concentração de equilíbrio com x_A.

$$N_A = K'_x(x_A^* - x_A) \quad (34)$$

Sendo K'_x a força motriz geral da fase líquida e x_A^* concentração de equilíbrio com y_A.

Igualando as equações 33 e 34, tem-se a equação 35, porém a equação é em relação a x e y da interface:

$$N_A = K'_y(y_A - y_{Ai}) = K'_x(x_{Ai} - x_A) \quad (35)$$

Através da Figura 09 tem-se que as equações 36 e 37, pode ser utilizada para encontrar o coeficiente global K'_y:

$$y_A - y_A^* = (y_A - y_{Ai} + y_{Ai} - y_A^*) \quad (36)$$

$$m' = \frac{y_{Ai} - y_A^*}{x_{Ai} - x_A} \quad (37)$$

Rearrumando a equação 37, tem-se a equação 38:

$$y_{Ai} - y_A^* = m'(x_{Ai} - x_A) \quad (38)$$

Substituindo a equação 36 na 38, encontra-se a equação 39:

$$y_A - y_A^* = y_A - y_{Ai} + m'(x_{Ai} - x_A) \quad (39)$$

Como todos os termos tem em comum o Na, então dividindo a equação pelo Na, obtém-se a equação 40:

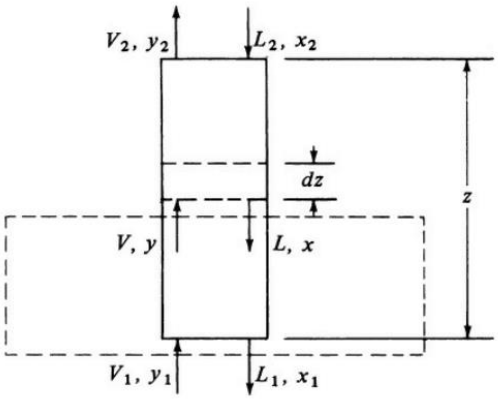
$$\frac{1}{K'_y} = \frac{1}{k'_y} + \frac{m'}{k'_x} \quad (40)$$

3.7 EQUAÇÃO GERAL DO PROJETO DE UMA TORRE DE ABSORÇÃO

Nesta parte, estuda-se o método de dimensionamento de torres recheadas utilizando coeficientes de transferência de massa. Para poder calcular a altura diferencial da torre dz, parte-se da teoria que os mols de A que se transferem para V são iguais aos mols que entram em L. Sendo assim, o objetivo é calcular o Kg mol de A transferidos para dz.

Define-se “dA” como a área interfacial, “dz” como elemento da altura do recheio, “S” área da seção transversal da torre.

Figura 10: Balanço de material para uma torre de absorção em contracorrente



Fonte: GEANKOPLIS (1998).

$$d_A = aSd_z;\ d(V_y) = d(L_x)$$

Igualando os fluxos de x e y, tem-se a seguinte equação como foi visto nas equações acima:

$$N_A = \frac{k'_y}{(1-y_A)_{iM}}(y_A - y_{Ai}) = \frac{k'_x}{(1-x_A)_{iM}}(x_{Ai} - x_A) \quad (41)$$

Multiplicando o lado esquerdo da equação 41 pelo dA e o lado direito por aSdz, tem-se:

$$N_A d_A = \frac{k'_y}{(1-y_A)_{iM}}(y_A - y_{Ai})Sd_z = \frac{k'_x}{(1-x_A)_{iM}}(x_{Ai} - x_A)Sd_z \quad (42)$$

Substituindo:

$$d(V_{yAG}) = \frac{k'_{ya}}{(1-y_A)_{iM}}(y_A - y_{Ai})Sd_z \quad (43)$$

$$d(L_{xAL}) = \frac{k'_{xa}}{(1-x_A)_{iM}}(x_{Ai} - x_A)Sd_z \quad (44)$$

Sendo, $V' = V(1 - y_{AG}) \rightarrow V = \frac{V'}{(1-y_{AG})}$ (45)

Utilizando o coeficiente de filme, tem-se as seguintes equações:

$$\int_0^z d_z = z = \int_{y_2}^{y_1} \frac{Vd_y}{\frac{k'_y aS}{(1-y)_{iM}}(1-y)(y-y_i)} \quad (46)$$

$$\int_0^z d_z = z = \int_{x_2}^{x_1} \frac{Ld_x}{\frac{k'_x aS}{(1-x)_{iM}}(1-x)(x_i-x)} \quad (47)$$

Derivando as equações 46 e 47 utilizando os coeficientes globais:

$$z = \int_{y_2}^{y_1} \frac{V d_y}{\frac{k'_y a S}{(1-y)_{*M}}(1-y)(y-y^*)} \tag{48}$$

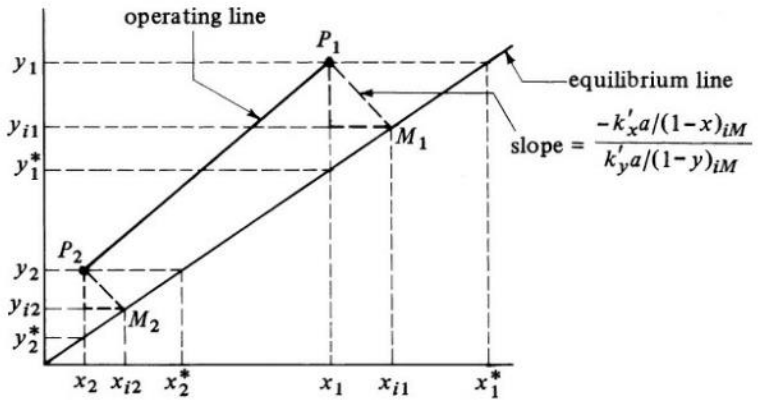
$$z = \int_{x_2}^{x_1} \frac{L d_x}{\frac{k'_x a S}{(1-x)_{*M}}(1-x)(x^*-x)} \tag{49}$$

Por fim, encontra-se 4 equações gerais possíveis para o dimensionamento de uma torre de absorção, onde duas são de interface em relação a X e Y e outras duas de equilíbrio em relação a X e Y.

3.8 EQUAÇÃO GERAL PARA SISTEMAS DILUÍDOS

Nessa etapa, simplifica-se uma das 4 equações anteriores para uma torre de recheio, sabendo que é essa simplificação pode ser aplicada nas outras 3 equações. Além disso, antes de iniciar é necessário entender o que é um sistema diluído. É um sistema diluído quando a entrada de soluto na coluna de recheio é menor ou igual a 10%. Então o objetivo é obter uma equação para esse tipo de sistema.

Figura 11: Gráfico para condições diluídas



Fonte: GEANKOPLIS (1998).

Escolhendo uma das equações:

$$z = \int_{y_2}^{y_1} \frac{V d_y}{\frac{k'_y a S}{(1-y)_{*M}}(1-y)(y-y^*)} \tag{50}$$

Como os valores de V, Ky, a e S são constantes e o termo $\frac{1-y}{(1-y)_{*M}}$ considera-se como valores médios e pode ser tirado da integral.

$$z = (\frac{V}{k'_y aS}) \frac{(1-y)}{(1-y)_{*M}} \int_{y_2}^{y_1} \frac{d_y}{(y-y^*)} \quad (51)$$

Rearranjando os termos tem-se que:

$$\frac{V}{S}(y_1 - y_2) = k'_y aZ\,(y - y_i)_{iM} \; e \frac{V}{S}(y_1 - y_2) = k'_y aZ\,(y - y^*)_M \quad (52)$$

$$\frac{L}{S}(x_1 - x_2) = k'_x aZ\,(x_i - x)_{iM} \; e \; \frac{L}{S}(x_1 - x_2) = k'_x aZ\,(x^* - x)_M \quad (53)$$

Encontrando assim a equação capaz de dimensionar a altura da coluna de recheio para situações de diluição. Levando em consideração 4 tipos de situações para que esse dimensionamento ocorra.

3.9 ESTUDO DE CASO

1) A acetona está sendo absorvida pela água em uma torre compacta com área de seção transversal de 0,186m² a 293K e 101,32kPa (1atm). O ar de entrada contém 2,6mol% de acetona e o de saída contém 0,5%. O gás fluxo é de 13,65kgmol de ar inerte/h (30,1 lbmol/h). A entrada de água pura fluxo é de 45,36kgmol de água/h (100 lbmol/h). Coeficientes de filme para os fluxos dados na torre são k'ya=3,78×10^–2 kgmol/s.m³.mol (8,50 lbmol/h.ft³ e k'xa= 6,16×10^–2 kgmol/s.m³mol(13,85 lbmol/h·ft³).

a. Calcular a altura da torre usando k'ya; b. Repita, usando k'xa; c. Calcule K'ya e a altura da torre.

Etapas para o dimensionamento de uma coluna de recheio, para este caso as composições e os coeficiente já são conhecidos. Inicialmente, é necessário determinar o balanço material do sistema com o objetivo de determinar a composição de saída do líquido. Como mostrada na Figura 11, é preciso fazer uma estimativa para obter a concentração na interface para X e Y no ponto 1 e no ponto 2, utilizando a equação presente na Figura 11. Após isso, utiliza-se uma relação estatística para descobrir a diferença da concentração na interface e de um ponto conhecido. Então, calcula-se a altura da coluna de recheio através dessa diferença de composição da interface e de um ponto P. Por fim, com os dados obtidos, é possível calcular o

coeficiente global de troca térmica e a composição no equilíbrio, através disso é determinada a altura na coluna de recheio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do estudo da absorção e do dimensionamento da coluna de recheio, foi possível perceber que para o dimensionamento da coluna de recheio é necessário realizar algumas etapas.

Iniciando pela determinação das condições de entrada e saída de soluto e solvente, em seguida estabelece-se as condições de equilíbrio que normalmente podem ser consultadas em laboratório através do experimento descrito no tópico 3.1. Realizando o balanço material e plotando a linha de operação e a de equilíbrio para encontrar as interseções entre elas e, por fim calcular as concentrações na interface ou no equilíbrio. Com o objetivo final de calcular altura do recheio.

Entretanto, é possível aplicar os dados obtidos em softwares para a validação do projeto ou realizar uma mudança de escala, considerando as devidas proporções da área interfacial que está relacionada ao volume do recheio e ao tamanho (altura e diâmetro) da coluna de absorção, com isso seriam alteradas as vazões de soluto e solvente com o objetivo de averiguar a metodologia de dimensionamento aplicada só que em uma escala piloto. levando em consideração fatores como grande área interfacial, tempo de contato entre as fases e alta solubilidade do soluto para que se possa obter resultados conclusivos. Para que no fim seja possível determinar alguns parâmetros e verificar com empresas especializadas a seleção dos tipos de solvente, recheio e todo o cálculo estimativo do diâmetro, altura da coluna e a sua queda de pressão.

Desta forma, a partir de uma mudança de escala e da validação dos dados obtidos em softwares, é possível determinar as especificações de operação de uma coluna de recheio em tamanho industrial. Sendo assim, conclui-se para dimensionar uma coluna é preciso uma junção de validação de dados, teste em plantas de menor escala e por fim consultas com empresas especializadas.

5. CONCLUSÃO

O detalhamento do fenômeno e o dimensionamento da coluna de recheio auxiliou no aprendizado da disciplina de operação unitárias e separação. A utilização da metodologia através das equações mostrou-se fundamental para a aprendizagem do assunto discutido. Durante este Trabalho de Conclusão de Curso foi possível observar alguns fatores que influenciam no processo da absorção e no dimensionamento da coluna de recheio, e como a variação destes fatores afetam o sistema como um todo. Sendo assim, é necessário que o cálculo de parâmetros reais da coluna de recheio, como exemplo, queda de pressão, eficiência e NETS (Número de Estágios Teóricos) para sistemas concentrados seja inserido, tornando um estudo mais completo.

6. REFERÊNCIAS

GEANKOPLIS, Cristie J. **Procesos de Transporte Y Operaciones Unitarias**, 3ª edição. México: Compañía Editorial Continental, S.A. De C.V. 3ª edição, 1998.

ABSORÇÃO GASOSA. S.I, 2019. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-18122009-141222/publico/absor.pdf. Acesso em: 07 jul. 2022.

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE CÁLCULO DE COLUNAS DE ABSORÇÃO GASOSA VIA VBA. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/8072/TCC%20Carolina-Marcos-Mariah.pdf;jsessionid=16F2445DBC6E6A9F26B60B71351DAB84?sequence=1. Acesso em: 07 jul. 2022.

GÓIS, Luiz Mario Nelson. **Absorção Gasosa**. 2021. Notas de aula. Não paginado.