Clark solutions
Thermal and Mechanical Separation Solutions

RECHEIOS ALEATÓRIOS
SÃO TODOS IGUAIS?

Introdução / Problema

Diversas operações industriais envolvem Transferência de Massa e requerem para tanto o contato íntimo entre fases, como a destilação e a absorção, que envolvem trocas entre as fases gás e líquido.

A transferência de massa é por definição um processo de não-equilíbrio, caracterizado pelo movimento de moléculas causado por um gradiente de concentração. A transferência de massa é estudada em uma escala contínua, correspondendo ao movimento médio de um número muito grande de moléculas, de modo que o perfil de concentração do soluto dentro de uma fase seja contínuo.

Em muitos casos o interesse reside no estudo da transferência de massa entre duas fases: líquido/líquido, gás/líquido, gás/sólido ou líquido/sólido. Estes fenômenos de transferência ocorrem na interface entre as fases. Nesta, o potencial químico do soluto difundido deve ser igual em ambas as fases.

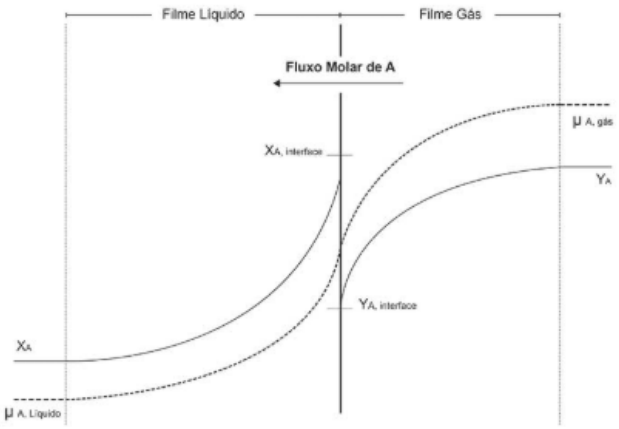
Devido à dificuldade de se operar com o potencial químico, emprega-se usualmente um artifício no qual seu gradiente é expresso em termos de diferenças de concentração. No entanto, na interface entre as fases, comumente há uma descontinuidade entre as concentrações, que pode ser correlacionada pelo coeficiente de partição, constante de Henry, entre outros.

Dessa forma, a eficiência em separar as gotículas menores de caldo de cana do vapor na saída dos evaporadores era muito baixa.

Gradiente de concentração

De acordo com a imagem ao lado, observa-se existe um gradiente de concentração e potencial químico entre o interior da fase e a interface entre fases. Esta diferença entre os potenciais químicos que define a magnitude do fluxo molar.

O gradiente de potencial químico (contínuo na inteface) pode ser expresso em termos de gradiente de concentração, que apesar de não ser contínuo entre as fases, possui medição mais simples e palpável.



Desta forma, para que haja uma transferência de massa eficiente entre duas fases, além de fornecer condições físicas de operação como pressões e temperaturas que favoreçam o processo particular, é necessário promover o contato entre as fases.

Em colunas destinadas a estas operações, chamam-se de internos de torres os diferentes dispositivos que auxiliam ou permitem seu funcionamento. Para promover o contato entre fases, existem duas classes principais de internos: Pratos e Recheios.

Recheio Aleatório | **3-Pack®**

Prato/ Bandeja | **MaxiValve®**

Colunas recheadas

Colunas recheadas são equipamentos comumente encontrados nas operações de absorção, destilação, stripping, entre outras aplicações.

A transferência de massa entre fases é favorecida pelo contato entre elas promovida pela superfície do recheio, que disponibiliza uma grande área de contato para que o fenômeno ocorra.

A primeira utilização de torres recheadas data provavelmente de 1820, quando bolas de vidro de uma polegada de diâmetro foram usadas em alambiques de álcool. Em 1907 na Alemanha, Dr. Raschig patenteou o primeiro recheio largamente conhecido, o Anel de Raschig, em formato de tubos cortados.

No entanto, nesta época a informação sobre como dimensionar estas torres ainda era escassa, e por isso torres recheadas eram utilizadas apenas para pilotos.

Apesar de ainda possuir um desempenho muito pobre, a invenção do Dr. Raschig mostrou que a geometria do recheio é fator determinante para sua eficiência no contato entre fases. A partir deste ponto, seu recheio foi modificado dando origem ao Anel de Lessing, Anel Particionado e, posteriormente, o famoso Anel de Pall (Pall Rings), desenvolvido na década de 50 na Alemanha, sendo o recheio mais popular nas décadas de 60 e 70.

O desenvolvimento de novos recheios não parou neste estágio. Diferentes geometrias quando empacotadas podem oferecer perdas de carga muito diferentes entre si.

Ainda, devido ao fato de a área específica dos recheios não ser necessariamente a área específica efetiva no transporte de massa, muitos recheios diferentes são testados todos os anos buscando melhor desempenho.

Os recheios podem ser constituídos de uma vasta gama de materiais plásticos, metálicos e cerâmicos e, com relação a outros dispositivos de transferência de massa, podem apresentar excelentes resultados em termos de eficiência e capacidade.

Existem diversas vantagens no uso de recheios em comparação a bandejas para muitos sistemas. Primeiramente, recheios são consideravelmente mais baratos que bandejas, além deste fato, podem ser manufaturadas em uma diversidade de materiais resistentes à corrosão e ao ataque químico, possuem baixa perda de carga em comparação às bandejas e são excelentes em suportar operações com formação de espuma.

Recheio Aleatório | **MaxiSaddles BPC®**

Os parâmetros desejáveis de colunas recheadas são: distribuição uniforme de gás e líquido, grande área superficial que promova o contato entre fases e estrutura empacotada que garanta baixa resistência ao fluxo de gás.

Os recheios são divididos entre os tipos aleatórios (distribuídos desta forma) e estruturados (distribuídos regularmente), cada qual com suas vantagens e desvantagens em função do processo.

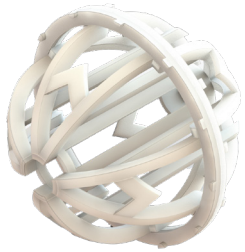
Isto porque existem diversos fatores que podem afetar a eficiência dos recheios, como regiões de estagnação de líquido que prejudicam a transferência de massa e fatores geométricos e de superfície que promovem a quebra do filme de líquido sobre a superfície do recheio, fazendo com que haja constante renovação do filme de líquido aumentando o contato deste com o gás, aumentando assim a área de troca efetiva do recheio.

Modelos de Recheios

Neste sentido, recheios como o CMTP®, metálico, o 3-Pack®, plástico, e a MaxiSaddle BPC®, cerâmica, estão entre os mais modernos e eficientes recheios oferecidos comercialmente, e visam aliar a baixa perda de carga com alta eficiência de transferência de massa, por renovar o filme de líquido sobre a sua superfície e reduzir a quantidade de líquido estagnada no mesmo sem, no entanto, impor grande resistência ao fluxo gasoso.

A determinação do diâmetro e perda de carga de colunas é diretamente afetada pela escolha de recheio, devido à sua ligação íntima ao afogamento da coluna. O design usual de colunas recheadas corresponde entre 60 e 80 por cento da velocidade de afogamento.

No entanto a velocidade máxima de operação pode ser menor do que esta, especialmente para casos onde há tendência de formação de espuma. Em operações com pressão próxima à atmosférica, a perda de carga deve ser minimizada para reduzir custos de energia para a compressão do gás de entrada.



Recheio Aleatório | **3-Pack®**

Recheio Aleatório | **CMTP®**

Recheio Aleatório | **MaxiSaddles BPC®**

A determinação da quantidade de recheio necessária para realizar a Transferência de Massa é uma complexa função envolvendo o número de zonas teóricas onde duas fases de uma substância estabelecem equilíbrio entre si no interior da coluna. O chamado número de estágios de equilíbrio, ou a mudança na composição do meio com a força motriz média para a transferência de massa.

O chamado de número de unidades de transferência, com os diversos parâmetros de operação da coluna, como densidade, viscosidade, temperatura, pressão, difusividade, vazões entre outras, fatores que são muitas vezes correlacionados com os dados calculados termodinamicamente para uma determinada separação.

Apesar da complexidade, estes fatores estão correlacionados aos parâmetros de área interfacial efetiva de troca de massa do recheio e dos coeficientes de transferência de massa do mesmo, permitindo a determinação da quantidade de recheio.

Transporte de Massa

O Coeficiente de Transporte de Massa (k) representa uma constante de velocidade referida à difusão e convecção de matéria, que relaciona a taxa de transferência de massa com a área de transferência e a força motriz, em termos de um gradiente de concentração, podendo ser expresso em diferentes unidades, a exemplo, quando calculado em termos de pressões parciais para casos envolvendo transferência na fase gás.

O Coeficiente pode ser calculado localmente ou globalmente, calculado do lado de cada uma das fases, e é função de parâmetros físicos como Temperatura, concentração, fluxo e geometria.

É usual atribuir comparações entre recheios através do coeficiente global de transferência de massa na fase gás multiplicado pela área interfacial efetiva, o KGa.

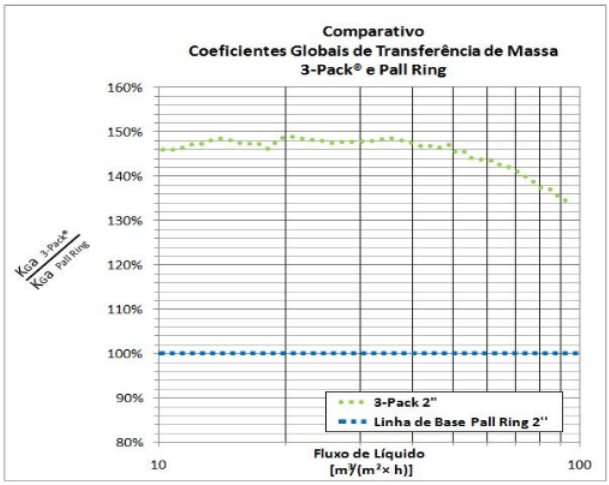
Sendo esta a constante de proporcionalidade entre taxa de massa transferida e a diferença de concentração esperada.

$$\left(\text{Taxa de Massa Transferida}\right) = k \times \left(\text{Área Interfacial}\right) \times \left(\text{Diferença de Concentração}\right)$$

Transferência de Massa

A imagem ao lado concerne a comparação entre o KGa dos recheios 3-Pack® e Pall Ring, ambos de tamanhos nominais de 2'' (duas polegadas), testados sobre as mesmas condições.

Neste caso, observa-se que tomando o valor encontrado para o Pall Ring como base, e fazendo a divisão do valor observado para o 3-Pack® sobre este valor, observa-se que o KGa, e portanto a transferência de massa para o recheio 3-Pack®, é aproximadamente 50% maior para quase toda a extensão de fluxo de líquido compreendida. Isto demonstra a superioridade do 3-Pack® com relação à transferência de massa.



Análise

Desta forma o líquido na região inferior do recheio pode encontra-se em sua maioria nas paredes do vaso, ou em concentradas regiões de caminho preferencial. Assim o gás não encontra eficientemente filme de líquido na base do recheio. Portanto a otimização do tamanho do recheio e a determinação de múltiplas seções de leito são também fatores importantes.

Não obstante, esses caminhos preferenciais fazem com que haja uma diminuição sensível da transferência de massa, especialmente quando a razão de líquido é inferior a certo valor crítico, chamada de razão mínima de molhamento (MWR).

A razão de molhamento é dada pela razão da velocidade superficial da fase líquida com a área específica do recheio.

À medida que o líquido desloca-se na coluna, ele se distribui uniformemente sobre a superfície do recheio aumentando o coeficiente de transporte de massa.

Entretanto a partir de uma determinada altura, efeitos de canalização começam a aparecer, e a distribuição passa a ser irregular, ou seja, aumentando a altura necessária para efetuar as trocas.

A questão do molhamento do recheio é crítica, pois pode afetar significativamente o desempenho do recheio. A razão mínima de recheio é função de sua geometria, de seu tamanho e especialmente, do seu material e superfície.

Alguns materiais em ordem decrescente de molhabilidade são: Cerâmica não vitrificada, Metal oxidado, Metal com superfície tratada, Cerâmica vitrificada, Vidro, Metal polido, PVC/CPVC, Polipropileno, PTFE.

Observa-se portanto que de forma geral, materiais cerâmicos são os mais facilmente molháveis e materiais plásticos, aqueles em que a molhabilidade torna-se fator crítico.

$$\begin{pmatrix}\text{Razão de}\\ \text{Molhamento}\end{pmatrix} = \frac{\begin{pmatrix}\text{Velocidade}\\ \text{Superficial}\end{pmatrix}}{\begin{pmatrix}\text{Área Específica}\\ \text{do Recheio}\end{pmatrix}}$$

Conclusão

Conclui-se, portanto, que recheios aleatórios diferentes podem exercer a mesma função, mas o comportamento do leito empacotado varia completamente com a natureza do recheio, variando com relação ao seu modelo e tamanho, material, e à própria extensão do leito.

Assim, o desafio de melhoria continua e diferentes ou novas versões dos mesmos recheios virão, permitindo o desengargalamento e a melhoria contínua de processos industriais.

Para saber mais sobre a nossa linha de Recheios Aleatórios, acesse o nosso site **www.clarksolutiosn.com**