

6– MISTURADORES E AGITADORES DE LÍQUIDOS

A IMPORTÂNCIA DA MISTURA NA INDÚSTRIA QUÍMICA É MUITO GRANDE.

A INTENSIDADE DA OPERAÇÃO É CARACTERIZADA DE FORMA QUALITATIVA POR:

“BLENDING” - HOMOGENEIZAÇÃO

“MIXING” - MISTURA

“AGITATION” - AGITAÇÃO.

HOMOGENEIZAÇÃO (BLENDING)

ENVOLVE UMA MOVIMENTAÇÃO BRANDA QUE VISA UNIFORMIZAR LÍQUIDOS MISCÍVEIS.

O QUE SE QUER É APENAS ACELERAR O PROCESSO DE DIFUSÃO DAS MOLÉCULAS QUE, SEM A AÇÃO MECÂNICA, SERIA PURAMENTE MOLECULAR.

MISTURA (MIXING)

É UMA OPERAÇÃO MAIS INTENSA VISANDO UNIFORMIZAR MATERIAIS QUE PODEM, OU NÃO, SER MISCÍVEIS.

AGITAÇÃO (AGITATION)

ENVOLVE A MOVIMENTAÇÃO MAIS INTENSA DO SISTEMA PARA SE ATINGIR DIVERSAS FINALIDADES.

O TERMO É MAIS GERAL E DEFINE UMA OPERAÇÃO MAIS COMPLETA QUE AS ANTERIORES. O OBJETIVO É MÚLTIPLO, ENVOLVENDO:

UNIFORMIZAÇÃO

MISTURA

SUSPENSÃO DE UM SÓLIDO NUM LÍQUIDO

DISPERSÃO DE GAS NUM LÍQUIDO

PROMOÇÃO DA TURBULÊNCIA NECESSÁRIA PARA ACELERAR OS
PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA.

O AGENTE DA OPERAÇÃO É DENOMINADO GERÉRICAMENTE AGITADOR.

EM ALGUNS CASOS NÃO HÁ UM DISPOSITIVO MECÂNICO INSTALADO ESPECÍFICAMENTE PARA ESSA FINALIDADE, SENDO EXEMPLOS A AGITAÇÃO COM AR OU NITROGÊNIO E OS MISTURADORES ESTÁTICOS.

6.1 PRINCIPAIS TIPOS DE OPERAÇÃO DE MISTURA:

DISPERSÃO DE LÍQUIDOS IMISCÍVEIS:

O OBJETIVO É SUBDIVIDIR UM LÍQUIDO EM GOTÍCULAS COM A MENOR DIMENSÃO POSSÍVEL E DISPERSÁ-LAS NO OUTRO DE MODO A UNIFORMIZAR OU LEVAR O SISTEMA A UM ESTADO DE DESORDEM UNIFORME.

HÁ UMA FASE CONTÍNUA E UMA OU MAIS DISPERSAS.

MANTER SÓLIDOS EM SUSPENSÃO

A INTENSIDADE DA AGITAÇÃO DEVE SER TANTO MAIOR QUANTO MAIOR FOR O PESO DAS PARTÍCULAS, QUE É CONTROLADO PELO SEU TAMANHO E MASSA ESPECÍFICA.

EMBORA MENOS, A FORMA DAS PARTÍCULAS TAMBÉM INFLUI NO GRAU DE AGITAÇÃO RECOMENDADO.

DISPERSAR GASES EM LÍQUIDOS

AUMENTAR SIMULTANEAMENTE A ÁREA INTERFACIAL GÁS-LÍQUIDO E A TURBULÊNCIA, PARA MELHORAR A TRANSFERÊNCIA DE MASSA, QUE É O REAL OBJETIVO DA OPERAÇÃO.

EXTRAIR UM SOLUTO DE UM LÍQUIDO

O SOLVENTE É OUTRO LÍQUIDO QUE DEVE SER IMISCÍVEL COM O PRIMEIRO (O SOLUTO) PARA PODER SER SEPARADO AO FINAL DA EXTRAÇÃO. QUALQUER UM (SOLUTO OU SOLVENTE) PODERÁ SER A FASE DISPERSA. O OUTRO CONSTITUI A FASE CONTÍNUA.

NESSE CASO TAMBÉM, DESEJA-SE AUMENTAR SIMULTÂNEAMENTE A ÁREA INTERFACIAL E O COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA PARA BENEFICIAR A VELOCIDADE DE EXTRAÇÃO.

PROMOVER O CONTATO EFICIENTE DE REAGENTES

FORA OS CASOS DE REAÇÕES INSTANTÂNEAS, A AGITAÇÃO PROMOVE O AUMENTO SIMULTÂNEO DA ÁREA INTERFACIAL E DAS VELOCIDADES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E DE MASSA, QUE POR SUA VEZ CONTRIBUEM PARA AUMENTAR A VELOCIDADE DE REAÇÃO.

ACCELERAR A TRANSFERÊNCIA DE CALOR

COM O AUMENTO DA TURBULÊNCIA NO SISTEMA, A AGITAÇÃO MELHORA O COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO ENTRE O CONTEÚDO DO VASO AGITADO E A CAMISA OU SERPENTINA.

EM SISTEMAS HETEROGÊNEOS PROMOVE TAMBÉM A FORMAÇÃO DE ÁREA INTERFACIAL.

PRODUZIR EMULSÕES

OS PROBLEMAS ENVOLVIDOS NESTE TIPO DE OPERAÇÃO SÃO:

TAMANHO DAS GOTÍCULAS E SUA DISTRIBUIÇÃO

DETERMINAR SE A EMULSÃO FICARÁ ESTÁVEL APÓS.

GERALMENTE ENVOLVE FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS E POR ISSO SUA VISCOSIDADE DIMINUI OU AUMENTA COM A TAXA DE CISALHAMENTO E ÀS VEZES COM O TEMPO.

6.2 SOLUÇÕES DE ENGENHARIA PARA OBTER MISTURA E AGITAÇÃO

TURBULÊNCIA ASSOCIADA AO ESCOAMENTO DO SISTEMA

É A MAIS SIMPLES. A MISTURA OCORRE NO TRAJETO, SENDO NECESSÁRIO APENAS QUE A EXTENSÃO DA LINHA SEJA SUFICIENTE PARA OBTER-SE O RESULTADO DESEJADO. ALÉM DISSO, UMA BOMBA CENTRÍFUGA É UM EXCELENTE MISTURADOR.

MISTURADOR ESTÁTICO OU EM LINHA:

NA REALIDADE É UM DISPOSITIVO ESTÁTICO PROMOTOR DE TURBULÊNCIA. ESTÃO SENDO UTILIZADOS MUITO FREQUENTEMENTE NUMA GRANDE VARIEDADE DE PROCESSOS NA INDÚSTRIA COMO A INCORPORAÇÃO DE ADITIVOS, O AJUSTE DE VISCOSIDADE DE ÓLEOS PESADOS COM ÓLEOS LEVES, ADIÇÃO DE ADITIVOS NA PRODUÇÃO DE POLIÉSTERES, DE ANIDRIDO MALEICO, ESTIRENO, DICLORO ETILENO, NA OXIDAÇÃO DE AMÔNIA PARA PRODUÇÃO DE ÁCIDO NÍTRICO, OU DE NYLON 6, NA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA E EFLUENTES, DESINFECÇÃO DE ÁGUAS COM CLORO OU OZÔNIO, ETC.

NÃO TEM PARTES MÓVEIS, SÃO COLOCADOS NO INTERIOR DE TUBOS POR ONDE O SISTEMA VAI ESCOAR. SUA CONSTRUÇÃO É MUITO SIMPLES, A PERDA DE CARGA INTRODUZIDA NÃO É GRANDE, MENOR QUE 3 A 5 psi. O

COMPRIMENTO GLOBAL DO MISTURADOR É REDUZIDO E A RELAÇÃO COMPRIMENTO/DIÂMETRO FICA ENTRE 6 E 20.

PODE SER FEITO DA MAIORIA DOS MATERIAIS QUE PODEM SER SOLDADOS OU MOLDADOS, INCLUINDO: AÇO INOX 316, AÇO CARBONO, ALLOY 20, TITÂNIO, HASTELLOY C, ALÉM DE PVC, PP, FLUORPOLÍMEROS (TAIS COMO TEFLON), CERÂMICAS ETC.

OS PRIMEIROS MISTURADORES COMERCIAIS COMEÇARAM A SURGIR HÁ APROXIMADAMENTE 30 ANOS.

AGITAÇÃO ATRAVÉS DE INJEÇÃO DE AR COMPRIMIDO

Pode também ser por espargimento de gás inerte ou de ar, no fundo do vaso, que atingirá média agitação com velocidade superficial do gás de 1 ft/min e agitação severa com 4 ft/min. O inconveniente em alguns casos é ocorrer evaporação.

AGITAÇÃO POR INJEÇÃO ATRAVÉS DE BOCAIS SUBMERSOS

É O CHAMADO “JET MIX”. ATRAVÉS DE BOMBAS DE CIRCULAÇÃO E DISTRIBUIDORES QUE PROMOVEM VELOCIDADES MUITO ALTAS.

NÃO TEM PARTES MÓVEIS E PERMITE AGITAR SUSPENSÕES COM SÓLIDOS DE ATÉ 5 cm DE DIÂMETRO.

AGITADOR CONVENCIONAL ROTATIVO

A popularidade dos misturadores tipo turbina nos processos industriais resulta da versatilidade. Eles se prestam para quase todas as aplicações de agitação, num amplo “range” de viscosidades.

Além disso, são relativamente baratos em comparação com outros tipos de misturadores. Essa vantagem de custo se acentua quando são necessárias grandes capacidades ou materiais especiais.

Esses agitadores tem um eixo acionado por motor elétrico, turbina a vapor, ou a ar comprimido, que provoca a rotação do misturador.

O escoamento provocado pelo rotor pode ser RADIAL ou AXIAL. O radial típico é o rotor de lâminas planas, que causa o fluxo perpendicular ao rotor. O rotor de lâminas inclinadas a 45° é o tipo axial mais comum e move o líquido paralelamente ao eixo do agitador.

O USO DE DOIS IMPELIDORES NO EIXO É DETERMINADO PELAS PROPRIEDADES FÍSICAS E CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA, QUE NORMALMENTE SÃO VISCOSIDADE, DIÂMETRO DO IMPELIDOR E NÍVEL LÍQUIDO NO VASO.

EM GERAL, O USO DE DOIS IMPELIDORES É RECOMENDADO PARA FLUIDOS COM VISCOSIDADE MAIORES QUE 45 CENTIPOISE.

AS FAIXAS DE VELOCIDADE (ROTAÇÃO RPM) PODEM SER AGRUPADAS ASSIM:

ALTA VELOCIDADE, 1750 RPM

Fluidos de baixa viscosidade tal como água

MÉDIA VELOCIDADE, 1150 RPM

Fluidos de média viscosidade como xarope e verniz.

BAIXA VELOCIDADE, 420 RPM

Fluidos de alta viscosidade tais como óleos, tintas ou há problema de formar espuma.

A EFICIÊNCIA DA MISTURA É GERALMENTE MAIOR (40 A 60%), PARA BAIXA VELOCIDADE (CERCA DE 400 RPM OU MENOR).

PARA ROTAÇÕES COMO 1750 E 1150 RPM, A EFICIÊNCIA É MENOR (25 A 45%).

6.3 CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS DOS AGITADORES

DURANTE A AGITAÇÃO O SISTEMA É MOVIMENTADO EM TODAS AS DIREÇÕES E SENTIDOS, OS FENÔMENOS DE TRANSPORTE SÃO TRIDIMENSIONAIS E, ALÉM DISSO, O REGIME É TRANSIENTE.

OUTRA PARTICULARIDADE É A NECESSIDADE DE MODELOS PARA ESSA OPERAÇÃO UNITÁRIA, POR SER IMPOSSÍVEL EM MUITOS CASOS PREVER COM EXATIDÃO, NO PAPEL, O QUE VAI OCORRER EM ESCALA INDUSTRIAL.

ASSIM, UM TROCADOR DE CALOR, POR EXEMPLO, PODE SER CALCULADO COM TODA SEGURANÇA SEM SE RECORRER A ENSAIOS PRÁTICOS, MAS NA AGITAÇÃO NEM SEMPRE SE PODE TRABALHAR ASSIM.

EMBORA A AGITAÇÃO ENVOLVA MUITAS VARIÁVEIS FÍSICAS, GEOMÉTRICAS E DE OPERAÇÃO, PODE-SE REDUZIR CONSIDERÁVELMENTE O SEU NÚMERO ATRAVÉS DA ANÁLISE DIMENSIONAL.

ENTÃO SE CONSEGUE CHEGAR À FORMA DAS CORRELAÇÕES PRÁTICAS QUE SE UTILIZA PARA PROJETAR E AVALIAR A OPERAÇÃO.

NORMALMENTE A SELEÇÃO DO MISTURADOR MAIS ADEQUADO E DA POTÊNCIA NECESSÁRIA É FEITA EM CONJUNTO COM UM FABRICANTE DESSES EQUIPAMENTOS.

6.4 GRUPOS ADIMENSIONAIS

NÚMERO DE REYNOLDS PARA AGITAÇÃO:

É a relação entre a força de inércia e a força de viscosidade.

NÚMERO DE FROUDE PARA AGITAÇÃO:

É a relação entre a força de inércia e a força gravitacional.

NÚMERO DE POTÊNCIA:

É a relação entre a força de arrasto imposta pelo fluido ao rotor e a força de inércia.

A potência consumida é o produto do torque aplicado pela velocidade de rotação. É função dos números de Reynolds e de Froude. Quando os efeitos gravitacionais não participam, é função só do número de Reynolds. Portanto é assim que se utiliza normalmente para correlacionar os dados sobre potência de agitadores.

NÚMEROS DE PRANDTL, PECKET E SCHMIDT

O primeiro envolve apenas propriedades e representa a relação entre as difusividades da quantidade de movimento e térmica.

O número de Peclet (Pe) é o produto dos números de Reynolds e de Prandtl.

O número de Schmidt representa a relação entre as difusividades da quantidade de movimento e molecular (transferência de massa).

NÚMERO DE BOMBEAMENTO:

Na ausência de efeito gravitacional depende só do número de Reynolds. O valor algébrico da velocidade média é a capacidade de bombeamento do agitador dividida pela área perpendicular à velocidade média.

6.5 COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO:

COMPARANDO O DESEMPENHO DE EQUIPAMENTO DE MISTURA, É IMPORTANTE COMPARAR OS DOIS SEGUINTE FATORES:

= GRAU DE HOMOGENEIDADE ATINGIDA

= TEMPO DE MISTURA

GRAU DE HOMOGENEIDADE (M):

A HOMOGENEIDADE NUM DADO TEMPO $M(t)$ É DADA PELA MUDANÇA DE CONCENTRAÇÃO DE UM COMPONENTE DE C_o A C_t COM O TEMPO:

$$M(t) = (C_o - C_t)/(C_o - C_i)$$

sendo C_i = concentração após tempo infinito

O PADRÃO DE HOMOGENEIDADE É 95%.

TEMPO DE MISTURA (T_m)

NECESSÁRIO PARA CHEGAR À HOMOGENEIDADE, PODE SER CALCULADO CONSIDERANDO QUE A NÃO HOMOGENEIDADE GERALMENTE SE REDUZ EXPONENCIALMENTE.

$$T_{m,x} = T_{m,95} \cdot [\ln(1-x)]/[\ln(0,05)]$$

Sendo x = grau de homogeneidade desejado.

6.6 RESPOSTA DINÂMICA DESEJADA

A RESPOSTA DINÂMICA DESEJADA É A VELOCIDADE MACIÇA (V_m) DO FLUIDO NA BATELADA E QUE CARACTERIZA A DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADE EM TODO O SISTEMA AGITADO.

A VELOCIDADE DA PONTA DAS LÂMINAS DO AGITADOR NÃO É ADEQUADA PARA ESTE FIM POR SER MUITO ALTA, ENQUANTO JUNTO AS PAREDES DO

VASO A VELOCIDADE É MUITO BAIXA PARA REPRESENTAR A VELOCIDADE EM TODO O VASO.

DEVE-SE UTILIZAR A VELOCIDADE MACIÇA QUE PREVALECE NUM PONTO SITUADO A 2/3 DA ALTURA DO VASO A CONTAR DO FUNDO E A MEIA DISTÂNCIA ENTRE O EIXO E A PAREDE.

Velocidades maciças normais na maioria das aplicações destes agitadores são: para média agitação 0,03 a 0,06 m/s e para intensa agitação 0,2 a 0,3 m/s.

AS VELOCIDADES MACIÇAS PODEM SER FIXADAS EM FUNÇÃO DE REQUISITOS DE PROCESSO, COM AUXÍLIO DA ESCALA DE AGITAÇÃO, CRIADA Chemineer.

PARA SE OBTER A DESEJADA RESPOSTA DINÂMICA, O PROJETO DO AGITADOR DEVE SER DESENVOLVIDO CONFORME RESUMIDO ABAIXO E DETALHADO EM EXEMPLO PRÁTICO FEITO EM SALA DE AULA.

6.7 SEQUÊNCIA PARA O PROJETO DO AGITADOR:

§ ESTABELECE A RAZÃO ALTURA DA BATELADA/DIÂMETRO DO VASO, (USUALMENTE 1,0).

§ CALCULAR A SECÇÃO TRANSVERSAL DO VASO.

§ CALCULAR A VAZÃO DE BOMBEAMENTO DO ROTOR USANDO UMA VELOCIDADE MACIÇA ENTRE AS DA TABELA JÁ REFERIDA E O CASO ESPECÍFICO DO PROCESSO, QUE SEJA A MAIS ADEQUADA.

§ ESCOLHER O DIÂMETRO INICIAL DO ROTOR USANDO UMA FRAÇÃO ENTRE 0,2 E 0,6 DO DIÂMETRO DO VASO.

§ CALCULAR A ROTAÇÃO ATRAVÉS DE UM PROCESSO DE CONVERGÊNCIA USANDO O NÚMERO DE REYNOLDS E O NÚMERO DE BOMBEAMENTO.

§ COM O NÚMERO DE REYNOLDS DE CONVERGÊNCIA ACHAR O NÚMERO DE POTÊNCIA E O FATOR DE CORREÇÃO DO DIÂMETRO DO ROTOR.

§ CALCULAR A POTÊNCIA USANDO O NÚMERO DE POTÊNCIA E O DIÂMETRO DO ROTOR CORRIGIDO.

§ CALCULAR O TORQUE DO ROTOR $(Mt) = (Pot)/(2 \times 3,1416 \times N)$

§ DETALHAR O ROTOR, AS CHICANAS E OUTRAS MEDIDAS.

§ ADAPTAR OS RESULTADOS ÀS OFERTAS DOS FABRICANTES.

6.8 ROTORES PRÓXIMOS AS PAREDES DO VASO:

PARA VALORES BAIXOS DE NÚMERO DE REYNOLDS, QUANTO 50, É POSSÍVEL GARANTIR BOA MISTURA USANDO ROTORES DE GRANDE DIÂMETRO, CORRETAMENTE PROJETADO COM UMA LÂMINA CORTANTE.

COM UM VALOR BEM BAIXO ASSIM DE NÚMERO DE REYNOLDS GERALMENTE É NECESSÁRIO LANÇAR MÃO DO USO DE ROTORES QUE GIREM BEM PRÓXIMO A PAREDE DO VASO.

OS TRÊS TIPOS MAIS COMUNS DESSES ROTORES SÃO:

§ ÂNCORA – É O TIPO MAIS SIMPLES E MAIS COMUMENTE USADO EM APLICAÇÕES COM ALTA VISCOSIDADE.

§ FITA HELICOIDAL – PODE SER USADO COM VISCOSIDADES EXTREMAMENTE ALTAS, ATÉ 1000 Pa.s.

§ FITA OTIMIZADA – É ADEQUADO PARA AMPLA FAIXA DE VISCOSIDADES DEVIDO A SUA FLEXIBILIDADE. PODE SER USADO COM CHICANAS E PODE TER BOM DESEMPENHO TAMBÉM COM ALTOS VALORES DE NÚMERO DE REYNOLDS (BAIXAS VISCOSIDADES).

6.9 AGITADORES PARA SUSPENSÃO DE SÓLIDOS:

AS PROPRIEDADES FÍSICAS IMPORTANTES PARA O PROJETO DE UM AGITADOR NESSE TIPO DE OPERAÇÃO SÃO:

- a) Massa específica do líquido.
- b) Diferença entre a massa específica do sólido e a do líquido.
 - c) Viscosidade do líquido.
 - d) Tamanho médio da partícula sólida
 - e) Concentração volumétrica de sólidos

TAMANHO MÉDIO DA PARTÍCULA SÓLIDA

PARA CONTORNAR A COMPLEXIDADE DA OPERAÇÃO DE SUSPENSÃO DE SÓLIDOS EM LÍQUIDOS, AS SITUAÇÕES DESSAS SUSPENSÕES SÃO GERALMENTE CLASSIFICADAS EM QUATRO AMPLAS CATEGORIAS COM BASE NA VELOCIDADE DE NÃO SEDIMENTAÇÃO.

POR EXPERIÊNCIA, DE AUTORES DA CHEMICAL ENGINEERING DE ABRIL DE 2006, RESULTADOS CONFIÁVEIS SÃO OBTIDOS COM O TAMANHO DE PARTÍCULA SÓLIDA USADA PARA PROJETO, COMO SENDO DE 80 A 90% QUE PASSA ATRAVÉS DE UMA MALHA (“MESH”).

CATEGORIA 1 – SUSPENSÕES SIMPLES E FLUXO DE LÍQUIDO EM REGIME LAMINAR. CORRESPONDE AOS NÍVEIS 1 E 2.

CATEGORIA 2 - SÃO SUSPENSÕES ONDE O FLUXO DE LÍQUIDO É MAIS COMPLEXO PORÉM PREVISÍVEL POR MEIO DE CORRELAÇÕES EMPÍRICA. É O CASO DA MAIORIA DAS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS. CORRESPONDE AOS NÍVEIS 3 A 5.

CATEGORIA 3 - SÃO SUSPENSÕES DIFÍCEIS AS QUAIS ENVOLVEM PARTÍCULAS GRANDES OU PESADAS. NESTA CATEGORIA OS PROJETOS (“SCALE UP”) SÃO USUALMENTE BASEADOS EM TESTES EM ESCALA PILOTO.

CATEGORIA 4 – SUSPENSÕES UNIFORMES ESTÃO PERTO DE SER ATINGÍVEIS. ÀS VEZES PRECISA DE VELOCIDADES MUITO ALTAS, O QUE PODE NÃO SER CONSEGUIDO DE FORMA ECONÔMICA. CORRESPONDEM AOS NÍVEIS 6 A 10.

6.10 AGITADORES PARA DISPERSÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO

MUITOS PROCESSOS INDUSTRIAIS NECESSITAM DE DISPERSÃO DE UM LÍQUIDO NOUTRO IMISCÍVEL.

DISPERSÕES INSTÁVEIS SÃO CRIADAS EM PROCESSOS COMO EXTRAÇÃO POR SOLVENTE (PARA PROVER UMA GRANDE ÁREA DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA) E EM POLIMERIZAÇÃO POR DISPERSÃO (PARA CRIAR A NECESSÁRIA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO DE PARTÍCULAS DE POLÍMEROS OU PROMOVER RETIRADA DE CALOR, POR EVAPORAÇÃO DO SOLVENTE.

A INTERAÇÃO DE VÁRIOS FATORES AFETANDO OS PROCESSOS DE DISPERSÃO É MUITO COMPLEXA E QUASE SEMPRE NECESSITAM DE TESTES. OS PRINCIPAIS FATORES SÃO:

§ PROPRIEDADES FÍSICAS DOS LÍQUIDOS (ESPECIALMENTE TENSÃO SUPERFICIAL).

§ EFEITOS DA MÚTUA SOLUBILIDADE OU REAÇÃO.

§ PRESENÇA DE SURFACTANTES. ESSES PRODUTOS SÃO FREQUENTEMENTE USADOS PARA FACILITAR A FORMAÇÃO DA ADEQUADA DISPERSÃO E EVITAR O RECOALESCIMENTO.

§ A TURBULÊNCIA CRIADA PELO AGITADOR.

TIPICAMENTE PARA UMA POTÊNCIA ESPECÍFICA FORNECIDA COMO “INPUT” DE 1,0 W/kg, PODE-SE ESPERAR GOTAS DE TAMANHO ENTRE 100 E 150 MICRONS.

PARA EMULSÕES DE MICRO PARTICULAS ENTRE 5 E 50 NANOMETROS, SÃO USADOS HOMOGENEIZADORES DE ALTA PRESSÃO COM DISSIPACÃO DE ENERGIA ACIMA DE 500 W/kg.

6.11 TRANSFERÊNCIA DE CALOR:

EMBORA OS VASOS AGITADOS NÃO SEJAM ESPECÍFICAMENTE UM EQUIPAMENTO DE TROCA DE CALOR, DEVEM SER CAPAZES DESSA OPERAÇÃO, QUE É MUITO IMPORTANTE E ÀS VEZES CRÍTICA.

POR EXEMPLO, UM TÍPICO PROCESSO EM BATELADA PODE INCLUIR O AQUECIMENTO PARA A TEMPERATURA DE REAÇÃO, MISTURA E RESFRIAMENTO DURANTE A REAÇÃO, PARA REMOVER O CALOR LIBERADO PELA REAÇÃO OU TAMBÉM AQUECIMENTO PARA EVAPORAR UM SOLVENTE, E FINALMENTE RESFRIAMENTO PARA A TEMPERATURA PRÓXIMA A DO AMBIENTE, PARA DEPOIS DESCARREGAR O PRODUTO.

O DESEMPENHO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR É GOVERNADO POR:

§ VAZÃO E TEMPERATURA DAS UTILIDADES E MEIOS DE AQUECIMENTO E DE RESFRIAMENTO

§ COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O LADO PROCESSO (PRODUTO) E PARA O LADO UTILIDADE USADA.

§ O TIPO E ÁREA DE CONTATO DAS SUPERFÍCIES DE TROCA DE CALOR.

COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM CAMISAS, SERPENTINAS E TROCADORES DE CALOR DE PLACAS, PODEM SER CALCULADOS ATRAVÉS DE BOAS CORRELAÇÕES.

POR OUTRO LADO AS PROPRIEDADES FÍSICAS E TERMODINÂMICAS SÃO GERALMENTE BEM CONHECIDAS E A PRECISÃO DO CÁLCULO DOS COEFICIENTES DE PELÍCULA É QUASE SEMPRE MUITO BOA.

DO LADO DO PROCESSO O COEFICIENTE DE TROCA DE CALOR É BASEADO NA EQUAÇÃO GERAL

IMPORTANTE:

A relação entre a potência do agitador e a troca de calor pode ser analisada pelo coeficiente de troca térmica do lado do processo é proporcional ao valor da potência elevado ao expoente (0,22).

Logo dobrando a Potência, o coeficiente de troca térmica (coeficiente de película) aumentará somente 16%.

6.12 INFORMAÇÕES PRÁTICAS

▪ **Agitadores e misturadores**

Harbny, Edwards e Nienow (1992) contribuem ao informar os consumos típicos de energia, em kW/m^3 .

O Quadro seguinte mostra os níveis de energia em kW/m^3 e cada processo a eles associados nos agitadores e misturadores:

| NÍVEIS DE ENERGIA | PROCESSOS | kW/m ³ |
|-------------------|--|-------------------|
| Baixo | Suspensão de sólidos leves | 0,2 |
| Baixo | Mistura de líquidos com baixa viscosidade | 0,2 |
| Moderado | Transferência de calor | 0,6 |
| Moderado | Dispersão de gases | 0,6 |
| Moderado | Suspensão de sólidos com massa específica Moderada | 0,6 |
| Alto | Suspensão de sólidos pesados | 2 |
| Alto | Emulsificação | 2 |
| Altíssimo | Mistura de pastas | 4 |
| Altíssimo | Massas | 4 |

Agitadores e misturadores - consumo típicos de energia em kW/m³

Fonte: Joaquim Junior (2007, p. 31).

Outra informação prática segura (Walas) sobre a relação potência consumida/volume (hp/1.000 gal) e a velocidade periférica do rotor (ft/min), é a seguinte;

Para agitação intensa em vasos com chicanas:

| OPERAÇÃO | hp/1000gal | VEL PERF (ft/min) |
|-------------------------|------------|-------------------|
| Mistura (blending) | 0,2 a 0,5 | |
| Reação homogênea | 0,5 a 1,5 | 7,5 a 10 |
| Reação e troca de calor | 1,5 a 5,0 | 10 a 15 |
| Mistura líquido-líquido | 5 | 15 a 20 |
| Mistura líquido-gás | 5 a 10 | 15 a 20 |
| Borras (slurries) | 10 | |

A potência para acionar a mistura de um gás e um líquido pode ser de 25 a 50% menos que a potência para acionar o líquido sozinho.

Para a suspensão de sólidos, quanto maior for o diâmetro do rotor, menor deve ser a potência requerida para se obter o mesmo resultado. A potência consumida por unidade de volume (kW/m^3) pode diminuir de 1 a 3 vezes em relação ao aumento da razão: diâmetro do rotor/diâmetro do vaso. A razão diâmetro do rotor/diâmetro do vaso normalmente praticada varia de $1/4$ a $1/2$, sendo a mais comum $1/3$.