

Contenido

Prefacio	xiii
PARTE I	
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE PROCESOS DE TRANSPORTE DE MOMENTO LINEAL, DE CALOR Y DE MASA	1
<i>Capítulo 1</i> Introducción a los principios de ingeniería y sus unidades	3
1.1 Clasificación de las operaciones unitarias y los procesos de transporte	3
1.2 El sistema (SI) de unidades fundamentales usado en este texto y otros sistemas de unidades	5
1.3 Métodos para expresar temperaturas y composiciones	7
1.4 Leyes de los gases y presión de vapor	10
1.5 Conservación de la masa y balances de materia	13
1.6 Unidades de energía y calor	17
1.7 Conservación de energía y balances de calor	23
1.8 Métodos matemáticos, gráficos y numéricos	29
<i>Capítulo 2</i> Principios de transferencia de momento lineal y balances globales	38
2.1 Introducción	38
2.2 Estática de fluidos	39
2.3 Ecuación general de transporte molecular para transferencia de momento lineal, calor y masa	47
2.4 Viscosidad de los fluidos	52
2.5 Tipos de flujo de fluidos y número de Reynolds	56
2.6 Balance total de masa y ecuación de continuidad	59
2.7 Balance global de energía	66
2.8 Balance general de momento lineal	80
2.9 Balance de momento lineal en el recinto y perfil de velocidades en flujo laminar	90
2.10 Ecuaciones de diseño para flujo laminar y turbulento en tuberías	96
2.11 Flujo compresible de gases	115

Capítulo 3	Principios de la transferencia de momento lineal y aplicaciones	130
3.1	Flujo alrededor de objetos inmersos y lechos empacados y fluidizados	130
3.2	Medición del flujo de fluidos	145
3.3	Bombas y equipo para manejar gases	152
3.4	Agitación y mezclado de fluidos y necesidades de potencia	161
3.5	Fluidos no newtonianos	174
3.6	Ecuaciones diferenciales de continuidad	186
3.7	Ecuación diferencial de transferencia de momento lineal o de movimiento	193
3.8	Uso de las ecuaciones diferenciales de movimiento y continuidad	199
3.9	Otros métodos para la resolución de ecuaciones diferenciales de movimiento	209
3.10	Flujo de capa límite y turbulencia	215
3.11	Análisis dimensional de la transferencia de momento lineal	228
Capítulo 4	Principios de transferencia de calor en estado estacionario	241
4.1	Introducción y mecanismos de la transferencia de calor	241
4.2	Transferencia de calor por conducción	247
4.3	Conducción a través de sólidos en serie	251
4.4	Conducción de estado estacionario y factores de forma	263
4.5	Transferencia de calor por convección forzada dentro de tuberías	265
4.6	Transferencia de calor por convección forzada en el exterior de diferentes geometrías	279
4.7	Transferencia de calor en convección natural	285
4.8	Ebullición y condensación	292
4.9	Intercambiadores de calor	301
4.10	Introducción a la transferencia de calor por radiación	310
4.11	Principios avanzados de transferencia de calor por radiación	316
4.12	Transferencia de calor en fluidos no newtonianos	333
4.13	Casos especiales de coeficientes de transferencia de calor	336
4.14	Análisis dimensional en la transferencia de calor	345
4.15	Métodos numéricos para la conducción en estado estacionario en dos dimensiones	348
Capítulo 5	Principios de transferencia de calor en estado no estacionario	368
5.1	Deducción de la ecuación básica	368
5.2	Caso simplificado de sistemas con resistencia interna despreciable	370
5.3	Conducción del calor en estado no estacionario en diversas geometrías	373
5.4	Métodos numéricos de diferencia finita para conducción en estado no estacionario	390
5.5	Enfriamiento y congelación de alimentos y materiales biológicos	401
5.6	Ecuación diferencial de cambio de energía	407
5.7	Flujo de capa límite y turbulencia en la transferencia de calor	413
Capítulo 6	Principios de transferencia de masa	425
6.1	Introducción a la transferencia de masa y difusión	425
6.2	Difusión molecular en gases	430
6.3	Difusión molecular en líquidos	444

6.4	Difusión molecular en soluciones y geles biológicos	450
6.5	Difusión molecular en sólidos	455
6.6	Métodos numéricos para la difusión molecular en estado estacionario en dos dimensiones	461
Capítulo 7 Principios de transferencia de masa en estado no estacionario y por convección		474
7.1	Difusión de estado no estacionario	474
7.2	Coefficientes de transferencia convectiva de masa	481
7.3	Coefficientes de transferencia de masa para diversas geometrías	487
7.4	Transferencia de masa a suspensiones de partículas pequeñas	503
7.5	Difusión molecular más convección y reacción química	506
7.6	Difusión de gases en sólidos porosos y capilares	517
7.7	Métodos numéricos para difusión molecular en estado no estacionario	524
7.8	Análisis dimensional en la transferencia de masa	530
7.9	Flujo de capa límite y turbulencia en la transferencia de masa	532
PARTE 2		
OPERACIONES UNITARIAS		545
Capítulo 8 Evaporación		545
8.1	Introducción	545
8.2	Tipos de equipos de evaporación y métodos de operación	547
8.3	Coefficientes totales de transferencia de calor en evaporadores	551
8.4	Métodos de cálculo para evaporadores de un solo efecto	553
8.5	Métodos de cálculo para evaporadores de efecto múltiple	560
8.6	Condensadores para evaporadores	569
8.7	Evaporación de materiales biológicos	571
8.8	Evaporación mediante recompresión de vapor	572
Capítulo 9 Secado de materiales de proceso		579
9.1	Introducción y métodos de secado	579
9.2	Equipo para secado	580
9.3	Presión de vapor del agua y humedad	584
9.4	Contenido de humedad de equilibrio de los materiales	593
9.5	Curvas de velocidad de secado	596
9.6	Métodos para calcular el periodo de secado de velocidad constante	601
9.7	Métodos para calcular el periodo de secado de velocidad decreciente	606
9.8	Transferencia de calor por combinación de convección, radiación y conducción, durante el periodo de velocidad constante	609
9.9	Secado por difusión y flujo capilar durante el periodo de velocidad decreciente	
9.10	Ecuaciones para diversos tipos de secadores	619
9.11	Liofilización de materiales biológicos	630
9.12	Procesamiento térmico en estado no estacionario y esterilización de materiales biológicos	634

Capítulo 10	Procesos de separación gas-líquido por etapas y continuos	650
10.1	Tipos de procesos y métodos de separación	650
10.2	Relaciones de equilibrio entre fases	652
10.3	Contacto de equilibrio en una y en múltiples etapas	653
10.4	Transferencia de masa entre fases	661
10.5	Procesos continuos de humidificación	670
10.6	Absorción en torres empacadas y de platos	679
10.7	Absorción de mezclas concentradas en torres empacadas	698
10.8	Estimación de los coeficientes de transferencia de masa para torres empacadas	703
Capítulo 11	Procesos de separación vapor-líquido	712
11.1	Relaciones de equilibrio vapor-líquido	712
11.2	Contacto de equilibrio de una sola etapa para un sistema vapor-líquido	715
11.3	Métodos simples de destilación	716
11.4	Destilación con reflujo y el método de McCabe-Thiele	722
11.5	Eficiencias de los platos en la destilación y la absorción	740
11.6	Destilación fraccionada con el método de entalpía-concentración	743
11.7	Destilación de mezclas multicomponentes	753
Capítulo 12	Procesos de separación líquido-líquido y sólido-fluido	773
12.1	Introducción a los procesos de adsorción	773
12.2	Adsorción por lotes	776
12.3	Diseño de columnas de adsorción de lecho fijo	777
12.4	Procesos de intercambio de iones	784
12.5	Procesos de extracción líquido-líquido en una sola etapa	
12.6	Equipo para extracción líquido-líquido	791
12.7	Extracción a continua contracorriente en etapas múltiples	794
12.8	Introducción y equipo para lixiviación líquido-sólido	800
12.9	Relaciones de equilibrio y lixiviación en una sola etapa	807
12.10	Lixiviación a contracorriente en etapas múltiples	810
12.11	Introducción y equipo de cristalización	815
12.12	Teoría de la cristalización	822
Capítulo 13	Procesos de separación a través de una membrana	833
13.1	Introducción y tipos de procesos de separación a través de las membranas	833
13.2	Procesos de membrana de permeación de líquidos o diálisis	834
13.3	Procesos a través de una membrana para permeación de gases	838
13.4	Modelo de mezcla completa para la separación de gases por medio de membranas	844
13.5	Modelo de mezcla completa para mezclas multicomponentes	850
13.6	Modelo de flujo cruzado para la separación de gases por membranas	853
13.7	Modelo de flujo a contracorriente para la separación de gases a través de membranas	860

13.8	Efectos de las variables de proceso en la separación de gases a través de membranas	863
13.9	Procesos a través de una membrana de ósmosis inversa	865
13.10	Aplicaciones, equipo y modelos para ósmosis inversa	871
13.11	Procesos a través de una membrana de ultrafiltración	875
 Capítulo 14 Procesos de separación físicos-mecánicos		 884
14.1	Introducción y clasificación de los procesos de separación fisico-mecánicos	884
14.2	Filtración en la separación sólido-líquido	885
14.3	Precipitación y sedimentación en la separación partícula-fluido	900
14.4	Procesos de separación por centrifugación	915
14.5	Reducción mecánica de tamaño	928
 APÉNDICES		
Apéndice A.1	Constantes fundamentales y factores de conversión	939
Apéndice A.2	Propiedades físicas del agua	943
Apéndice A.3	Propiedades físicas de compuestos inorgánicos y orgánicos	953
Apéndice A.4	Propiedades físicas de materiales alimenticios y biológicos	978
Apéndice A.5	Propiedades de tuberías, ductos y tamices	981
 Notación		 984
 Índice		 993