

# ÍNDICE ANALÍTICO

## DINAMICA DE PROCESOS, REACCIONES Y REACTORES W. J. Weber, Jr., y R. P. Canale

### **Dinámica de procesos, 1**

Procesos de transporte y reacción, 1  
Ecuaciones de balance material, 2

### **Mecánica del transporte de materia, 5**

Procesos de transporte, 5  
Transporte de materia por difusión, 6  
Transporte de materia convectivo, 7

### **Reacciones y energía, 7**

Equilibrio y energía, 8  
Energía libre, 10  
Constante de equilibrio, 13  
Estequiometría, 15

### **Cinética y velocidades de reacción, 16**

Ecuaciones de la ley de acción de masas, 17  
Órdenes de reacción, 19  
Tratamiento de los datos cinéticos, 20  
Limitaciones de las ecuaciones de ley de acción de masas, 23  
Aplicación de la ecuación de primer orden, 24  
Reacciones de primer orden retardantes y autocatalíticas, 25  
Reacciones consecutivas, 27  
Reacciones simultáneas, 29  
Reacciones reversibles, 31  
Reacciones enzimáticas, 33

## XVI Indice analítico

- Temperatura y energía de activación, 36**
  - Catálisis, 37**
    - Catálisis homogénea, 39**
    - Catálisis heterogénea, 40**
  - Ingeniería de reactores y diseño de procesos, 41**
  - Reactores discontinuos completamente agitados, 42**
  - Reactores de flujo completamente agitado, 43**
  - Reactores CMF en serie, 45**
  - Determinación de los parámetros de velocidad en reactores CMF, 46**
  - Reactores de flujo a tapón, 48**
  - Flujo tapón con dispersión, 51**
  - Problemas, 58**
  - Referencias, 62**
- 2. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN**  
C. R. O'Melia
- Procesos de coagulación, 64**
    - Coagulación y floculación, 66**
  - La estabilidad de los coloides, 67**
    - Potenciales de atracción y repulsión, 67**
    - Solvatación, 70**
  - Desestabilización de los coloides, 71**
    - Compresión de la doble capa, 71**
    - Adsorción y neutralización de la carga, 73**
    - Inmersión en un precipitado, 75**
    - Adsorción y enlace de puente interparticula, 76**
  - Desestabilización en el tratamiento del agua y del agua residual, 78**
    - Desestabilización por Al(III) y Fe(III), 79**
    - Polímeros orgánicos sintéticos, 85**
    - Sílice activada, 89**
    - Biofloculación, 90**
    - Selección de un coagulante, 91**
    - Unidades de mezclado rápido, 94**
  - Transporte de las partículas coloidales, 95**
    - Floculación pericinética, 96**
    - Floculación ortocinética, 97**
    - Ecuaciones para determinar el gradiente de velocidad medio, 99**
  - Transporte de partícula en el tratamiento del agua y agua residual, 100**
    - Unidades de floculación, 101**
  - Recopilación, 104**
  - Problemas, 106**

**Referencias, 112****1. SEDIMENTACIÓN****R. P. Canale y J. A. Borchardt****Procesos de sedimentación, 115****Clarificación clase-1, 116****Clarificación clase-2, 122****Decantación zonal, 124****Compresión, 127****Canalización y modelos de dispersión, 128****Diseño del tanque de sedimentación, 131****Funciones del diseño, 132****Configuración del clarificador, 133****Decantadores de tubos, 135****Estructuras de entrada y salida, 135****Factores de seguridad, 137****Problemas, 138****Referencias, 143****2. FILTRACIÓN****J. L. Cleasby****Procesos de filtración, 145****Medio filtrante, 146****Mecanismos principales de la filtración, 147****Hidráulica del flujo a través de un medio poroso, 148****Desarrollo de la pérdida de carga en un filtro de gravedad, 150****Tratamiento previo del agua (pretratamiento), 151****Modelos de control de velocidad y métodos, 152****Filtración a presión constante, 153****Filtración a velocidad constante, 154****Filtración con velocidad decreciente, 155****Modelos de pérdida de carga a velocidad constante, 157****Modelo de calidad para el efluente del filtro, 160****Filtros de precapa, 161****Filtros granulares profundos, 161****Modelos matemáticos para filtros granulares profundos, 161****Modelo de superficie específica para partículas esféricas, 164****Modelo de superficie específica para capilares cilíndricos, 165****Velocidad intersticial, 166**

## XVIII Indice analítico

### **Filtración lenta con arena, 170**

Operación de un filtro lento de arena, 170

Rendimiento de los filtros de arena lentos, 171

### **Filtración rápida con arena, 171**

Velocidad de filtración, 172

Tendencias actuales de la filtración rápida con arena, 172

Detalles de un filtro de gravedad, 173

Detalle de un filtro de arena rápido a presión, 176

VARIABLES DE DISEÑO Y OPERACIÓN PARA FILTROS GRANULARES PROFUNDOS, 176

Medio filtrante, 176

Lavado de los filtros, 179

Fluidificación y expansión del lecho durante el lavado, 180

Agitación auxiliar durante el lavado, 183

Sistemas de desagüe inferior, 186

Diseño del canal de recogida para el agua de lavado, 187

Problemas de operación, 190

### **Filtración de precapa, 191**

El ciclo del filtro, 192

Tipos de filtros, 193

Modelo matemático para la filtración de precapa, 193

Condiciones óptimas de trabajo, 199

### **Problemas, 200**

### **Referencias, 207**

## **5. ADSORCIÓN**

W. J. Weber, Jr.

### **Procesos de adsorción, 210**

Relación entre la tensión superficial y la adsorción, 211

Causas y tipos de adsorción, 215

### **Equilibrio de adsorción e isoterma de adsorción, 217**

Ecuaciones de Langmuir y BET, 218

La ecuación de Freundlich, 221

### **Velocidades de adsorción, 222**

Etapa limitadora de la velocidad, 223

### **Cinética de sorción para reactores discontinuos, 225**

Ecuación de conservación de la masa que se difunde, 228

### **Cinética de sorción en reactores de flujo continuo, 231**

Ecuaciones de balance-material, 232

Método de cinética de segundo orden, 233

Mecanismo y velocidad de transferencia molecular, 235

Reacción superficial, 236

Difusión externa, 236

Difusión interna, 237  
Difusión externa e interna combinadas, 238

**Factores que influyen la adsorción, 241**

Área superficial, 241  
Naturaleza del adsorbato, 242  
**pH, 246**  
**Temperatura, 248**  
**Adsorción de solutos mixtos, 249**  
Naturaleza del adsorbente, 251

**Sistemas de contacto y modos de operación, 255**

Sistemas discontinuos y de flujo continuo, 255  
Curva de saturación, 356  
Diseño de un adsorbedor de lecho fijo, 258

**Problemas, 263**

**Referencias, 269**

**INTERCAMBIO IÓNICO**

W. J. Weber, Jr.

**Procesos de intercambio, 274**

**Materiales de intercambio, 274**  
Resinas sintéticas, 275  
Métodos de preparación, 277

**Reacciones de intercambio, 278**

Equilibrios, 279  
Isotermas de intercambio, 287  
Selectividad iónica, 287  
Cinética de intercambio, 291

**Procedimientos de trabajo, 293**

Método para el diseño de la columna, 294

**Aplicaciones, 295**

Ablandamiento del agua (desendurecimiento), 295  
Desmineralización del agua, 300  
Tratamiento de aguas industriales residuales, 301  
Tratamiento de aguas residuales municipales, 302  
Sistemas de intercambio, 303  
Equipo y detalles de operación, 309  
Consideraciones económicas, 310  
Ensayo de las resinas, 310

**Problemas, 311**

**Referencias, 317**

**7. PROCESOS DE MEMBRANA**

J. E. Cruver

**Procesos de separación, 319**

**Osmosis inversa, 322**

Osmosis y presión osmótica, 324

Difusión de agua y soluto, 326

Propiedades de las membranas de acetato de celulosa, 329

Temperatura y pH de la alimentación, 331

Rechazo del soluto, 332

Otros sistemas de membranas, 334

Capa límite, 335

Diseño del sistema, 337

Pretratamiento y mantenimiento del flujo por unidad de superficie, 341

Aplicaciones, 343

Economía, 343

**Ultrafiltración, 344**

Ecuaciones matemáticas, 344

Propiedades de la membrana, 346

Polarización por concentración, 346

Diseño, 349

Aplicaciones, 350

**Electrodiálisis, 350**

Energía requerida mínima, 353

Transporte iónico selectivo, 353

Propiedades de las membranas y preparación, 356

Polarización por concentración, 357

Potencia y energía necesaria, 357

Eficacia de la corriente, 358

Voltaje, 360

Diseño, 361

Método de cálculo, 362

Configuración de celda y pila (paquetes de celdas), 364

Aplicaciones, 367

Economía, 368

**Problemas, 368**

**Referencias, 376**

**8. OXIDACION QUÍMICA**

H. S. Posselt y W. J. Weber, Jr.

**Procesos de oxidación, 379**

Limitaciones de los procesos de oxidación y los agentes oxidantes en el tratamiento de aguas y aguas residuales, 381

**Principios y teorías de la oxidación química, 382**

Conceptos y definiciones, 382

**Degradación oxidativa versus substitución, 385**  
**Igualación de las ecuaciones de oxidación-reducción, 386**  
**Consideraciones termodinámicas, 387**  
**Consideraciones cinéticas, 390**  
**Efectos de los catalizadores sobre las oxidaciones químicas, 391**  
**Papel del pH en las oxidaciones químicas, 392**  
**Naturaleza de los reactivos, 394**

**Oxígeno, 395**

**Propiedades físicas y químicas del oxígeno, 395**  
**Aplicaciones específicas, 396**

**Ozono, 397**

**Propiedades físicas y químicas del ozono, 398**  
**Métodos analíticos, 400**  
**Generación de ozono, 400**  
**Sistemas de contacto para el ozono, 401**  
**Aplicaciones específicas, 401**

**Permanganato, 403**

**Propiedades físicas y químicas del permanganato, 404**  
**Oxidaciones con permanganato en el tratamiento del agua, 405**  
**Métodos analíticos, 410**  
**Cómo se aplica el permanganato, 411**

**Cloro, 412**

**Consideraciones prácticas, 413**

**Dióxido de cloro, 414**

**Generación del dióxido de cloro, 414**  
**Propiedades físicas y químicas del dióxido de cloro, 415**  
**Reacciones del dióxido de cloro, 416**  
**Métodos analíticos, 417**

**Problemas, 417**

**Referencias, 425**

**DESINFECCIÓN**

**W. J. Weber, Jr., y H. S. Posselt**

**Procesos de desinfección, 429**  
**Historia de la desinfección, 430**  
**Métodos de desinfección, 431**  
**Velocidades de desinfección, 432**  
**Concentración del desinfectante, 436**  
**Temperatura, 437**  
**Efecto del pH, 438**  
**Materia orgánica, 439**

**Métodos no químicos de desinfección, 439**  
**Métodos térmicos, 439**

## **XXII Indice analítico**

Radiación ultravioleta, 440  
Radiaciones gamma y X, 441

### **Desinfectantes químicos, 442**

**Cloro y sus derivados, 443**  
Propiedades del cloro, 443  
Alimentación de cloro, 444  
Manejo seguro del cloro, 444  
Química del cloro acuoso, 445  
Cloraminas, 447  
Cloración de ruptura, 451  
Cloración residual-libre, 453  
Cloración residual-combinada, 453  
Cloración del agua residual, 454  
Efectividad vírica, 455  
Decloración, 456  
Cloro disponible, 457  
Hipoclorito sódico, 458  
Cal clorada, 458  
Hipoclorito cálcico, 458  
Dióxido de cloro, 459

**Halógenos distintos del cloro, 459**  
Flúor, 460  
Bromo, 460  
Iodo, 461

**Agentes oxidantes distintos de los halógenos, 464**  
Ozono, 464  
Peróxido de hidrógeno, 46  
Permanganato, 467

**Reactivos varios, 467**  
Metales pesados, 467  
Ácidos y bases, 469  
Tensoactivos, 469

**Problemas, 469**

**Referencias, 472**

### **10. CORROSIÓN Y CONTROL DE LA CORROSION**

F. M. Donahue

**Procesos de corrosión, 475**  
Corrosión en los sistemas de calidad del agua, 475  
Naturaleza electroquímica de la corrosión, 476

**Termodinámica electroquímica, 477**  
Potencial de electrodo, 477

**Diagramas de Pourbaix, 479**  
**Electrosorción, 480**

**Cinética electroquímica, 481**

**Ley de Faraday, 481**

**La ecuación de Butler, 482**

**Control del transporte de materia, 484**

**Potenciales mixtos, 487**

**Propiedades metalúrgicas, 493**

**Homogeneidad, 493**

**Propiedades de los metales en medios corrosivos, 494**

**Corrosión general, 494**

**Corrosión galvánica, 495**

**Pasividad, 499**

**Corrosión en holguras muy finas, 503**

**Corrosión debida al gas hidrógeno, 504**

**Corrosión por picado, 504**

**Arietamiento por corrosión bajo tensión, 505**

**Corrosión bacteriana, 506**

**Corrientes vagabundas, 507**

**Métodos para controlar la corrosión, 508**

**Control de la corrosión por diseño, 508**

**Control de la corrosión por modificación del entorno, 509**

**Control de la corrosión por técnicas electroquímicas, 510**

**Ensayo de corrosión, 512**

**Ensayos de planta, 512**

**Ensayo de laboratorio, 514**

**Problemas, 517**

**Referencias, 520**

## **AIREACION Y TRANSFERENCIA DE GAS**

**R. P. Canale y W. J. Weber, Jr.**

**Procesos de transferencia de gas, 522**

**Pasos de transporte, 523**

**Ecuaciones de transferencia de gas, 524**

**Factores que afectan a la solubilidad del gas, 527**

**Velocidad de transferencia de gas, 529**

**Transferencia de película, 529**

**Acumulación en la fase líquida, 531**

**Reacción heterogénea, 533**

**Transporte en la fase líquida, 534**

**Sistemas de aireación y transferencia de gas, 537**

**Sistemas de aire comprimido, 537**

## **XXIV Indice analítico**

Sistemas de aspiración, 539  
Sistemas mecánicos, 539

### **Factores que influyen sobre las velocidades de aireación y transferencia de oxígeno, 540**

Velocidad y tamaño de las burbujas, 542  
Efectos de la composición de la disolución, 543

### **Correlaciones de transferencia, 545**

Correlaciones de transferencia para aireadores, 545  
Correlaciones de transferencia para corrientes, 547

### **Problemas, 548**

### **Referencias, 551**

## **12. TRATAMIENTO DEL FANGO**

R. J. Dick

### **Fangos y procesos de tratamiento, 553**

#### **Alternativas en la manipulación de los fangos, 555**

#### **Características de los fangos, 557**

Concentración, 557  
Peso específico, 559  
Propiedades reológicas, 559  
Propiedades de sedimentación, 562  
Propiedades deshidratantes, 562  
Poder calorífico, 564  
Propiedades químicas, 566  
Propiedades biológicas, 567

#### **Acondicionamiento del fango, 568**

Métodos de acondicionamiento químicos, 569  
Métodos de acondicionamiento físicos, 571  
Acondicionamiento con calor, 571  
Acondicionamiento por congelación, 571  
Uso de aditivos, 572

#### **Espesamiento, 572**

Espesamiento por gravedad, 573  
Medición de las propiedades de decantación, 575  
Diseño de los espesadores por gravedad, 577  
Flotación, 580  
Sistema de flotación, 581  
Flotación por aire disuelto a presión, 582

#### **Desidratación del fango, 585**

Filtración a vacío, 585  
Otros métodos de filtración, 593

**Filtro prensa**, 593  
**Filtros de gravedad rotatorios**, 594  
**Centrifugación**, 594  
**Eras de secado de fango**, 597  
**Lagunas de fango**, 599

### **Secado**, 600

**Procesos de conversión**, 601  
**Digestión anaerobia**, 601  
**Digestión aerobia**, 602  
**Combustión**, 602  
    Hornos de bandejas superpuestas, 603  
    Reactores de lecho fluidificado, 603  
    Combustión en cámara de pulverización, 605  
    Incineración (Flash Drying), 605  
    Combustión húmeda, 605

### **Aprovechamiento del fango**, 607

**Vertido final**, 608  
**Vertido al aire**, 608  
**Vertido al agua**, 608  
**Vertido en tierra**, 609

### **Problemas**, 612

### **Referencias**, 612

**Apéndice A. Símbolos**, 621  
**Apéndice B. Factores de conversión**, 631  
**Índice alfabético**, 645