

CONTENIDO

| | |
|------------------------------|-------|
| PREFACIO | xvii |
| VISITA GUIADA | xx |
| ACERCA DE LOS AUTORES | xxiii |

PARTE UNO MODELOS, COMPUTADORAS Y ANÁLISIS DEL ERROR 2

| | |
|--------------------------------|---|
| PT1.1 Motivación | 3 |
| PT1.2 Antecedentes matemáticos | 5 |
| PT1.3 Orientación | 7 |

CAPÍTULO 1

Modelos matemáticos y solución de problemas en ingeniería 10

| | |
|--|----|
| 1.1 Un modelo matemático simple | 10 |
| 1.2 Leyes de conservación e ingeniería | 15 |
| Problemas | 18 |

CAPÍTULO 2

Programación y software 22

| | |
|-----------------------------------|----|
| 2.1 Paquetes y programación | 22 |
| 2.2 Programación estructurada | 23 |
| 2.3 Programación modular | 31 |
| 2.4 Excel | 32 |
| 2.5 MATLAB | 36 |
| 2.6 Mathcad | 41 |
| 2.7 Otros lenguajes y bibliotecas | 41 |
| Problemas | 42 |

CAPÍTULO 3

Aproximaciones y errores de redondeo 48

| | |
|---------------------------|----|
| 3.1 Cifras significativas | 49 |
| 3.2 Exactitud y precisión | 50 |
| 3.3 Definiciones de error | 51 |
| 3.4 Errores de redondeo | 56 |
| Problemas | 70 |

CAPÍTULO 4

Errores de truncamiento y la serie de Taylor 71

| | |
|------------------------|----|
| 4.1 La serie de Taylor | 71 |
|------------------------|----|

- 4.2 Propagación del error 85
- 4.3 Error numérico total 89
- 4.4 Equivocaciones, errores de formulación e incertidumbre en los datos 93
- Problemas 95

EPÍLOGO: PARTE UNO 97

- PT1.4 Alternativas 97
- PT1.5 Relaciones y fórmulas importantes 100
- PT1.6 Métodos avanzados y referencias adicionales 100

PARTE DOS RAÍCES DE ECUACIONES 102

- PT2.1 Motivación 103
- PT2.2 Antecedentes matemáticos 105
- PT2.3 Orientación 106

CAPÍTULO 5

Métodos cerrados 110

- 5.1 Métodos gráficos 110
- 5.2 El método de bisección 114
- 5.3 Método de la falsa posición 120
- 5.4 Búsquedas por incrementos y determinación de valores iniciales 124
- Problemas 126

CAPÍTULO 6

Métodos abiertos 130

- 6.1 Iteración simple de punto fijo 130
- 6.2 Método de Newton-Raphson 135
- 6.3 El método de la secante 140
- 6.4 Método de Brent 144
- 6.5 Raíces múltiples 148
- 6.6 Sistemas de ecuaciones no lineales 151
- Problemas 156

CAPÍTULO 7

Raíces de polinomios 159

- 7.1 Polinomios en la ciencia y en la ingeniería 159
- 7.2 Cálculos con polinomios 161
- 7.3 Métodos convencionales 164
- 7.4 Método de Müller 165
- 7.5 Método de Bairstow 169
- 7.6 Otros métodos 174
- 7.7 Localización de raíces con paquetes de software 174
- Problemas 183

CAPÍTULO 8**Estudio de casos: raíces de ecuaciones 185**

- 8.1 Leyes de los gases ideales y no ideales (ingeniería química y bioquímica) 185
 - 8.2 Los gases de invernadero y la lluvia (ingeniería civil y ambiental) 188
 - 8.3 Diseño de un circuito eléctrico (ingeniería eléctrica) 190
 - 8.4 Fricción en tubos (ingeniería mecánica y aeroespacial) 192
- Problemas 195

EPÍLOGO: PARTE DOS 205

- PT2.4 Alternativas 205
- PT2.5 Relaciones y fórmulas importantes 206
- PT2.6 Métodos avanzados y referencias adicionales 206

PARTE TRES ECUACIONES ALGEBRAICAS LINEALES 208

- PT3.1 Motivación 209
- PT3.2 Antecedentes matemáticos 211
- PT3.3 Orientación 218

CAPÍTULO 9**Eliminación de Gauss 221**

- 9.1 Solución de sistemas pequeños de ecuaciones 221
 - 9.2 Eliminación de Gauss simple 227
 - 9.3 Dificultades en los métodos de eliminación 234
 - 9.4 Técnicas para mejorar las soluciones 239
 - 9.5 Sistemas complejos 246
 - 9.6 Sistemas de ecuaciones no lineales 247
 - 9.7 Gauss-Jordan 248
 - 9.8 Resumen 250
- Problemas 251

CAPÍTULO 10**Descomposición LU e inversión de matrices 253**

- 10.1 Descomposición LU 253
 - 10.2 La matriz inversa 262
 - 10.3 Análisis del error y condición del sistema 266
- Problemas 271

CAPÍTULO 11**Matrices especiales y el método de Gauss-Seidel 274**

- 11.1 Matrices especiales 274
 - 11.2 Gauss-Seidel 278
 - 11.3 Ecuaciones algebraicas lineales con paquetes de software 284
- Problemas 289

CAPÍTULO 12**Estudio de casos: ecuaciones algebraicas lineales 292**

- 12.1 Análisis en estado estacionario de un sistema de reactores (ingeniería química/bioingeniería) 292
- 12.2 Análisis de una armadura estáticamente determinada (ingeniería civil/ambiental) 295
- 12.3 Corrientes y voltajes en circuitos con resistores (ingeniería eléctrica) 298
- 12.4 Sistemas masa-resorte (ingeniería mecánica/aeronáutica) 299
- Problemas 302

EPÍLOGO: PARTE TRES 311

- PT3.4 Alternativas 311
- PT3.5 Relaciones y fórmulas importantes 312
- PT3.6 Métodos avanzados y referencias adicionales 312

PARTE CUATRO OPTIMIZACIÓN 314

- PT4.1 Motivación 315
- PT4.2 Antecedentes matemáticos 319
- PT4.3 Orientación 320

CAPÍTULO 13**Optimización unidimensional sin restricciones 324**

- 13.1 Búsqueda de la sección dorada 325
- 13.2 Interpolación parabólica 331
- 13.3 Método de Newton 332
- 13.4 Método de Brent 335
- Problemas 335

CAPÍTULO 14**Optimización multidimensional sin restricciones 338**

- 14.1 Métodos directos 338
- 14.2 Métodos con gradiente 342
- Problemas 354

CAPÍTULO 15**Optimización con restricciones 355**

- 15.1 Programación lineal 355
- 15.2 Optimización con restricciones no lineal 366
- 15.3 Optimización con paquetes de software 366
- Problemas 376

CAPÍTULO 16**Estudio de casos: optimización 379**

- 16.1 Diseño de un tanque con el menor costo (ingeniería química/bioingeniería) 379

- 16.2 Mínimo costo para el tratamiento de aguas residuales (ingeniería civil/ambiental) 383
- 16.3 Máxima transferencia de potencia en un circuito (ingeniería eléctrica) 387
- 16.4 Equilibrio y energía potencial mínima (ingeniería mecánica/aeroespacial) 388
- Problemas 391

EPÍLOGO: PARTE CUATRO 399

- PT4.4 Alternativas 399
- PT4.5 Referencias adicionales 400

PARTE CINCO AJUSTE DE CURVAS 402

- PT5.1 Motivación 403
- PT5.2 Antecedentes matemáticos 404
- PT5.3 Orientación 413

CAPÍTULO 17

Regresión por mínimos cuadrados 416

- 17.1 Regresión lineal 416
- 17.2 Regresión polinomial 429
- 17.3 Regresión lineal múltiple 433
- 17.4 Mínimos cuadrados lineales en general 435
- 17.5 Regresión no lineal 439
- Problemas 443

CAPÍTULO 18

Interpolación 447

- 18.1 Interpolación polinomial de Newton en diferencias divididas 447
- 18.2 Polinomios de interpolación de Lagrange 457
- 18.3 Coeficientes de un polinomio de interpolación 461
- 18.4 Interpolación inversa 462
- 18.5 Comentarios adicionales 463
- 18.6 Interpolación mediante trazadores (splines) 463
- 18.7 Interpolación multidimensional 475
- Problemas 476

CAPÍTULO 19

Aproximación de Fourier 479

- 19.1 Ajuste de curvas con funciones sinusoidales 480
- 19.2 Serie de Fourier continua 485
- 19.3 Dominios de la frecuencia y del tiempo 488
- 19.4 Integral y transformada de Fourier 492
- 19.5 Transformada discreta de Fourier (TDF) 493
- 19.6 Transformada rápida de Fourier 495
- 19.7 El espectro de potencia 500

- 19.8 Ajuste de curvas con paquetes de software 501
- Problemas 509

CAPÍTULO 20

Estudio de casos: ajuste de curvas 512

- 20.1 Regresión lineal y modelos de población (ingeniería química/bioingeniería) 512
- 20.2 Uso de trazadores para estimar la transferencia de calor (ingeniería civil/ambiental) 515
- 20.3 Análisis de Fourier (ingeniería eléctrica) 517
- 20.4 Análisis de datos experimentales (ingeniería mecánica/aeronáutica) 518
- Problemas 519

EPÍLOGO: PARTE CINCO

- PT5.4 Alternativas 530
- PT5.5 Relaciones y fórmulas importantes 531
- PT5.6 Métodos avanzados y referencias adicionales 531

PARTE SEIS DIFERENCIACIÓN E INTEGRACIÓN NUMÉRICAS 534

- PT6.1 Motivación 535
- PT6.2 Antecedentes matemáticos 543
- PT6.3 Orientación 545

CAPÍTULO 21

Fórmulas de integración de Newton-Cotes 549

- 21.1 La regla del trapecio 550
- 21.2 Reglas de Simpson 558
- 21.3 Integración con segmentos desiguales 566
- 21.4 Fórmulas de integración abierta 568
- 21.5 Integrales múltiples 570
- Problemas 572

CAPÍTULO 22

Integración de ecuaciones 575

- 22.1 Algoritmos de Newton-Cotes para ecuaciones 575
- 22.2 Integración de Romberg 576
- 22.3 Cuadratura adaptiva 581
- 22.4 Cuadratura de Gauss 584
- 22.5 Integrales impropias 590
- Problemas 593

CAPÍTULO 23

Diferenciación numérica 595

- 23.1 Fórmulas de diferenciación con alta exactitud 595
- 23.2 Extrapolación de Richardson 598

- 23.3 Derivadas de datos irregularmente espaciados 599
- 23.4 Derivadas e integrales para datos con errores 601
- 23.5 Derivadas parciales 602
- 23.6 Integración/diferenciación numéricas con paquetes de software 603
- Problemas 610

CAPÍTULO 24

Estudio de casos: integración y diferenciación numéricas 613

- 24.1 Integración para determinar la cantidad total de calor (ingeniería química/bioingeniería) 613
- 24.2 Fuerza efectiva sobre el mástil de un bote de vela de carreras (ingeniería civil/ambiental) 615
- 24.3 Raíz media cuadrática de la corriente mediante integración numérica (ingeniería eléctrica) 617
- 24.4 Integración numérica para calcular el trabajo (ingeniería mecánica/aeronáutica) 619
- Problemas 621

EPÍLOGO: PARTE SEIS 631

- PT6.4 Alternativas 631
- PT6.5 Relaciones y fórmulas importantes 632
- PT6.6 Métodos avanzados y referencias adicionales 632

PARTE SIETE ECUACIONES DIFERENCIALES ORDINARIAS 634

- PT7.1 Motivación 635
- PT7.2 Antecedentes matemáticos 638
- PT7.3 Orientación 640

CAPÍTULO 25

Métodos de Runge-Kutta 644

- 25.1 Método de Euler 644
- 25.2 Mejoras del método de Euler 654
- 25.3 Métodos de Runge-Kutta 661
- 25.4 Sistemas de ecuaciones 670
- 25.5 Métodos adaptativos de Runge-Kutta 675
- Problemas 682

CAPÍTULO 26

Métodos rígidos y de pasos múltiples 685

- 26.1 Rigidez 685
- 26.2 Métodos de pasos múltiples 688
- Problemas 706

CAPÍTULO 27

Problemas de valores en la frontera y de valores propios 708

- 27.1 Métodos generales para problemas de valores en la frontera 709

- 27.2 Problemas de valores propios 714
- 27.3 EDO y valores propios con paquetes de software 726
- Problemas 732

CAPÍTULO 28

Estudio de casos: ecuaciones diferenciales ordinarias 735

- 28.1 Uso de las EDO para analizar la respuesta transitoria de un reactor (ingeniería química/bioingeniería) 735
- 28.2 Modelos depredador-presa y caos (ingeniería civil/ambiental) 741
- 28.3 Simulación de la corriente transitoria en un circuito eléctrico (ingeniería eléctrica) 744
- 28.4 El péndulo oscilante (ingeniería mecánica/aeronáutica) 748
- Problemas 751

EPÍLOGO: PARTE SIETE 762

- PT7.4 Alternativas 762
- PT7.5 Relaciones y fórmulas importantes 763
- PT7.6 Métodos avanzados y referencias adicionales 763

PARTE OCHO ECUACIONES DIFERENCIALES PARCIALES 766

- PT8.1 Motivación 767
- PT8.2 Orientación 770

CAPÍTULO 29

Diferencias finitas: ecuaciones elípticas 773

- 29.1 La ecuación de Laplace 773
- 29.2 Técnica de solución 774
- 29.3 Condiciones en la frontera 780
- 29.4 El método del volumen de control 785
- 29.5 Software para resolver ecuaciones elípticas 788
- Problemas 789

CAPÍTULO 30

Diferencias finitas: ecuaciones parabólicas 791

- 30.1 La ecuación de conducción de calor 791
- 30.2 Métodos explícitos 792
- 30.3 Un método implícito simple 795
- 30.4 El método de Crank-Nicolson 798
- 30.5 Ecuaciones parabólicas en dos dimensiones espaciales 801
- Problemas 804

CAPÍTULO 31**Método del elemento finito 806**

- 31.1 El enfoque general 807
- 31.2 Aplicación del elemento finito en una dimensión 810
- 31.3 Problemas bidimensionales 818
- 31.4 Resolución de EDP con paquetes de software 820
- Problemas 825

CAPÍTULO 32**Estudio de casos: ecuaciones diferenciales parciales 827**

- 32.1 Balance de masa unidimensional de un reactor (ingeniería química/bioingeniería) 827
- 32.2 Deflexiones de una placa (ingeniería civil/ambiental) 831
- 32.3 Problemas de campo electrostático bidimensional (ingeniería eléctrica) 833
- 32.4 Solución por elemento finito de una serie de resortes (ingeniería mecánica/aeronáutica) 835
- Problemas 838

EPÍLOGO: PARTE OCHO 841

- PT8.3 Alternativas 841
- PT8.4 Relaciones y fórmulas importantes 841
- PT8.5 Métodos avanzados y referencias adicionales 842

APÉNDICE A: LA SERIE DE FOURIER 843**APÉNDICE B: EMPECEMOS CON MATLAB 845****APÉNDICE C: INICIACIÓN A MATHCAD 852**

- Fundamentos de Mathcad 852
- Introducción de texto y operaciones matemáticas 853
- Funciones y variables matemáticas 854
- Función de métodos numéricos 857
- Procedimientos y subprogramas de líneas múltiples 858
- Creación de gráficas 858
- Matemáticas simbólicas 860
- Para aprender más acerca de Mathcad 862

BIBLIOGRAFÍA 863**ÍNDICE ANALÍTICO 867**