

# Contenido

## PARTE I FUNDAMENTOS, 1

### Capítulo 1 El diseño en ingeniería mecánica en perspectiva, 3

- 1.1 Generalidades, 3
- 1.2 Consideraciones de seguridad, 4
- 1.3 Consideraciones ecológicas, 10
- 1.4 Consideraciones sociológicas, 12
- 1.5 Consideraciones generales del diseño, 14
- 1.6 Sistemas de unidades, 15
- 1.7 Metodología para resolver problemas del diseño de elementos de máquinas, 19
- 1.8 Trabajo y energía, 21
- 1.9 Potencia, 23
- 1.10 Conservación de la energía, 24

### CAPÍTULO 2 Análisis de cargas, 39

- 2.1 Introducción, 39
- 2.2 Ecuaciones de equilibrio y diagramas de cuerpo libre, 39
- 2.3 Cargas en vigas, 51
- 2.4 Localización de las secciones críticas: concepto del flujo de fuerzas, 54
- 2.5 Distribución de la carga entre apoyos redundantes, 56
- 2.6 El concepto de flujo de fuerzas aplicado a estructuras dúctiles redundantes, 58

### Capítulo 3 Materiales, 79

- 3.1 Introducción, 79
- 3.2 La prueba estática a tensión: relaciones nominales de esfuerzo-deformación, 80
- 3.3 Implicaciones de la curva nominal esfuerzo-deformación, 81
- 3.4 La prueba estática a tensión: relaciones de esfuerzo verdadero-deformación verdadera, 84
- 3.5 Capacidad de absorción de energía, 86
- 3.6 Estimación de las propiedades de resistencia por medio de las pruebas de dureza por penetración, 87
- 3.7 Empleo de los "manuales" como medio para conocer la resistencia de materiales, 90
- 3.8 Maquinabilidad, 91
- 3.9 Hierro fundido, 91
- 3.10 Acero, 92
- 3.11 Aleaciones no ferrosas, 95

- 3.12 Plásticos, 96
- 3.13 Cartas para la selección de materiales, 101
- 3.14 Proceso de selección de materiales en ingeniería, 105

### Capítulo 4 Esfuerzos en los cuerpos estáticos, 117

- 4.1 Introducción, 117
- 4.2 Aplicación de una carga axial, 117
- 4.3 Aplicación de una carga cortante directa, 119
- 4.4 Aplicación de una carga de torsión, 121
- 4.5 Esfuerzo de flexión puro de vigas rectas, 123
- 4.6 Esfuerzo de flexión puro de vigas curvas, 124
- 4.7 Esfuerzo cortante transversal en vigas, 130
- 4.8 Esfuerzos inducidos: representación en el círculo de Mohr, 136
- 4.9 Esfuerzos combinados: representación en el círculo de Mohr, 139
- 4.10 Ecuaciones de esfuerzo relacionadas con el círculo de Mohr, 142
- 4.11 Esfuerzos tridimensionales, 144
- 4.12 Factor de concentración de esfuerzos,  $K_t$ , 145
- 4.13 Importancia de la concentración de esfuerzos, 146
- 4.14 Esfuerzos residuales debidos a cedencia: carga axial, 151
- 4.15 Esfuerzos residuales debidos a cedencia: esfuerzo de flexión y esfuerzo de torsión, 155
- 4.16 Esfuerzos térmicos, 157
- 4.17 Importancia de los esfuerzos residuales, 160

### Capítulo 5 Deformación elástica, deflexión y estabilidad, 174

- 5.1 Introducción, 174
- 5.2 Deformación: definición, medición y representación en el círculo de Mohr, 175
- 5.3 Análisis de la deformación: rosetas equiangulares, 177
- 5.4 Análisis de la deformación: rosetas rectangulares, 179
- 5.5 Relaciones esfuerzo-deformación elástica y círculos de Mohr en tres dimensiones, 182
- 5.6 Deflexión y razón de elasticidad: casos simples, 184
- 5.7 Deflexión en vigas, 186
- 5.8 Determinación de las deflexiones elásticas por el método de Castigliano, 189
- 5.9 Reacciones redundantes por el método de Castigliano, 202
- 5.10 Inestabilidad elástica y pandeo de Euler en columnas, 207

- 5.11 Altura efectiva de la columna para diversas condiciones en los extremos, 209
- 5.12 Ecuaciones para el diseño de columnas: parábola de J. B. Johnson, 210
- 5.13 Carga excéntrica en columnas: fórmula de la secante, 214
- 5.14 Esfuerzos equivalentes en columnas, 216
- 5.15 Otros tipos de pandeo, 216
- 5.16 Análisis de elementos finitos, 218

#### Capítulo 6 Teorías de las fallas, factores de seguridad y confiabilidad, 227

- 6.1 Introducción, 227
- 6.2 Tipos de fallas, 229
- 6.3 Mecánica de la fractura: conceptos básicos, 230
- 6.4 Mecánica de la fractura: aplicaciones, 232
- 6.5 La "teoría" de las teorías sobre la falla estática, 242
- 6.6 Teoría del esfuerzo normal máximo, 245
- 6.7 Teoría del esfuerzo cortante máximo, 244
- 6.8 Teoría de la energía de distorsión máxima, (teoría del esfuerzo cortante máximo sobre un plano octaédrico), 245
- 6.9 Teoría de Mohr modificada, 248
- 6.10 Selección y uso de las teorías sobre fallas, 249
- 6.11 Factores de seguridad: concepto y definición, 251
- 6.12 Factores de seguridad: selección de un valor numérico, 253
- 6.13 Confiabilidad, 255
- 6.14 Distribuciones normales, 257
- 6.15 Teoría de la interferencia en la predicción de la confiabilidad, 259

#### Capítulo 7 Impacto, 267

- 7.1 Introducción, 267
- 7.2 Esfuerzo y deflexión producidos por impacto lineal e impacto con flexión, 269
- 7.3 Esfuerzo y deflexión producidos en el impacto torsional, 277
- 7.4 Efecto de los concentradores de esfuerzos en la resistencia al impacto, 280

#### Capítulo 8 Fatiga, 290

- 8.1 Introducción, 290
- 8.2 Conceptos básicos, 290
- 8.3 Resistencia estándar a la fatiga ( $S'_n$ ) por flexión-rotación, 292
- 8.4 Resistencias a la fatiga para carga axial invertida y carga a flexión invertida, 298
- 8.5 Resistencia a la fatiga por carga torsional invertida, 299
- 8.6 Resistencia a la fatiga por carga biaxial invertida, 300
- 8.7 Influencia del tipo de superficie y de las dimensiones sobre la resistencia a la fatiga, 301
- 8.8 Resumen de las resistencias a la fatiga estimadas considerando cargas totalmente invertidas, 304
- 8.9 Efecto del esfuerzo medio sobre la resistencia a la fatiga, 304
- 8.10 Efecto de la concentración de esfuerzos con carga a fatiga completamente invertida, 312

- 8.11 Efecto de la concentración de esfuerzos con cargas medias y cargas alternantes, 315
- 8.12 Predicción de la vida a fatiga con cargas de variación aleatoria, 322
- 8.13 Efecto de los tratamientos superficiales en la resistencia a la fatiga de una parte, 326
- 8.14 Tratamientos mecánicos de la superficie: granallado y otros, 328
- 8.15 Tratamientos térmicos y químicos para el endurecimiento de superficies: endurecimiento por inducción, carburación y otros, 329
- 8.16 Crecimiento de las grietas a fatiga, 329
- 8.17 Enfoque general del diseño a fatiga, 334

#### Capítulo 9 Daño a la superficie, 348

- 9.1 Introducción, 348
- 9.2 Corrosión: fundamentos, 348
- 9.3 Corrosión: heterogeneidad del electrodo y electrólito, 352
- 9.4 Diseño para controlar la corrosión, 354
- 9.5 Corrosión y esfuerzo estático adicional, 356
- 9.6 Corrosión con esfuerzos cíclicos, 359
- 9.7 Daño por cavitación, 360
- 9.8 Tipos de desgaste, 360
- 9.9 Desgaste por adherencia, 361
- 9.10 Desgaste por abrasión, 363
- 9.11 Ludimiento, 364
- 9.12 Enfoque analítico del desgaste, 365
- 9.13 Esfuerzos de contacto en las superficies curvas, 368
- 9.14 Fallas a fatiga en la superficie, 375
- 9.15 Conclusión, 376

### PARTE 2 APLICACIONES, 383

#### Capítulo 10 Sujetadores roscados y tornillos de potencia, 385

- 10.1 Introducción, 385
- 10.2 Formas de roscas: terminología y especificaciones, 386
- 10.3 Tornillos de potencia, 391
- 10.4 Esfuerzos estáticos en tornillos, 399
- 10.5 Tipos de sujetadores roscados, 404
- 10.6 Materiales para sujetadores y métodos de manufactura, 406
- 10.7 Apriete y tensión inicial de pernos, 406
- 10.8 Cómo se afloja y se fija la cuerda, 411
- 10.9 Tensión en el perno con una fuerza externa de separación en la junta, 413
- 10.10 Selección de pernos (o tornillos) para soportar carga estática, 418
- 10.11 Fundamentos para seleccionar pernos (o tornillos) con carga a fatiga, 425
- 10.12 Selección de los pernos para cargas a fatiga usando datos de pruebas especiales, 432
- 10.13 Aumento de la resistencia a la fatiga de una junta empernada, 435

#### Capítulo 11 Remaches, soldadura y unión con adhesivos, 446

- 11.1 Introducción, 446
- 11.2 Remaches, 446



- 11.3 Procesos de soldadura, 448
- 11.4 Juntas soldadas sometidas a carga estática axial y carga cortante directa, 452
- 11.5 Juntas soldadas sometidas a carga estática a torsión y carga a flexión, 455
- 11.6 Consideraciones sobre fatiga en las juntas soldadas, 460
- 11.7 Soldadura fuerte y soldadura blanda, 463
- 11.8 Adhesivos, 463

**Capítulo 12 Resortes, 469**

- 12.1 Introducción, 469
- 12.2 Resortes de barra de torsión, 469
- 12.3 Esfuerzos en resortes helicoidales y ecuaciones de deflexión, 470
- 12.4 Análisis de esfuerzos y resistencia en los resortes helicoidales a compresión: cargas estáticas, 476
- 12.5 Diseño de los extremos de los resortes helicoidales a compresión, 479
- 12.6 Análisis del pandeo en los resortes helicoidales a compresión, 480
- 12.7 Procedimiento para el diseño de resortes helicoidales a compresión: aplicación de carga estática, 481
- 12.8 Diseño de resortes helicoidales a compresión para carga a fatiga, 485
- 12.9 Resortes de extensión helicoidales, 493
- 12.10 Resortes de viga (incluyendo resortes de hoja), 494
- 12.11 Resortes de torsión, 500
- 12.12 Resortes diversos, 501

**Capítulo 13 Lubricación y cojinetes deslizantes, 517**

- 13.1 Clases de lubricantes, 517
- 13.2 Clases de cojinetes deslizantes, 518
- 13.3 Tipos de lubricación, 518
- 13.4 Conceptos básicos de lubricación hidrodinámica, 519
- 13.5 Viscosidad, 522
- 13.6 Efectos de la temperatura y la presión en la viscosidad, 526
- 13.7 Ecuación de Petroff para la fricción en cojinetes, 527
- 13.8 Teoría de la lubricación hidrodinámica, 529
- 13.9 Gráficas para el diseño de cojinetes hidrodinámicos, 532
- 13.10 Suministro de lubricante, 540
- 13.11 Disipación de calor y temperatura de equilibrio de la película de aceite, 542
- 13.12 Materiales para cojinetes, 544
- 13.13 Diseño de cojinetes hidrodinámicos, 545
- 13.14 Lubricación al límite y de película mezclada, 551
- 13.15 Cojinetes axiales, 553
- 13.16 Lubricación elastohidrodinámica, 554

**Capítulo 14 Rodamientos, 559**

- 14.1 Comparación entre los diversos medios para soportar ejes giratorios, 559
- 14.2 Origen de los rodamientos, 563
- 14.3 Tipos de cojinetes con elementos rodantes, 564
- 14.4 Diseño de cojinetes con elementos rodantes, 568
- 14.5 Ajuste de rodamientos, 572
- 14.6 "Información de catálogos" sobre rodamientos, 573
- 14.7 Selección de rodamientos, 576

- 14.8 Montaje adecuado de los rodamientos para soportar una carga de empuje, 586

**Capítulo 15 Engranajes rectos, 591**

- 15.1 Introducción y antecedentes históricos, 591
- 15.2 Geometría y nomenclatura, 592
- 15.3 Interferencia y razón de contacto, 601
- 15.4 Análisis de fuerzas en los engranes, 604
- 15.5 Resistencia de los dientes de engranes, 608
- 15.6 Análisis básico de la resistencia a la flexión de los dientes de engranes (ecuación de Lewis), 608
- 15.7 Análisis detallado de la resistencia a la flexión de los dientes de engranes: conceptos básicos, 610
- 15.8 Análisis detallado de la resistencia a la flexión de los dientes de engranes: procedimiento recomendado, 612
- 15.9 Durabilidad de la superficie de los dientes de engranes: conceptos básicos, 619
- 15.10 Análisis de fatiga en la superficie de los dientes de engranes: procedimiento recomendado, 622
- 15.11 Procedimientos para el diseño de engranes rectos, 627
- 15.12 Materiales para engranes, 632
- 15.13 Trenes de engranes, 632

**Capítulo 16 Engranajes helicoidales, cónicos y de tornillo sinfín, 647**

- 16.1 Introducción, 647
- 16.2 Geometría y nomenclatura de los engranes helicoidales, 650
- 16.3 Análisis de fuerzas en engranes helicoidales, 653
- 16.4 Resistencia a la flexión y a la fatiga superficial de los dientes de engranes helicoidales, 656
- 16.5 Engranajes helicoidales cruzados, 657
- 16.6 Geometría y nomenclatura de engranes cónicos, 658
- 16.7 Análisis de fuerzas en los engranes cónicos, 660
- 16.8 Resistencias a la flexión y a la fatiga superficial en los dientes de engranes helicoidales, 662
- 16.9 Trenes de engranes cónicos; engranes diferenciales, 664
- 16.10 Geometría y nomenclatura del engrane de tornillo sinfín, 666
- 16.11 Análisis de la eficiencia y las fuerzas del engranaje de tornillo sinfín, 668
- 16.12 Resistencias a la flexión y a la fatiga superficial en los engranes de tornillo sinfín, 673
- 16.13 Capacidad térmica del engrane de tornillo sinfín, 675

**Capítulo 17 Flecha de transmisión y elementos asociados, 688**

- 17.1 Introducción, 688
- 17.2 Especificaciones para la instalación de los cojinetes en las flechas, 689
- 17.3 Montaje de partes en flechas giratorias, 689
- 17.4 Dinámica de las flechas giratorias, 692
- 17.5 Diseño global de flechas, 694
- 17.6 Cuñas, pasadores y estrías, 699
- 17.7 Acoplamientos y juntas universales, 701

**Capítulo 18 Embragues y frenos, 712**

- 18.1 Introducción, 712



- 18.2 Embragues de disco, 712
- 18.3 Frenos de disco, 718
- 18.4 Absorción de energía y enfriamiento, 719
- 18.5 Frenos y embragues cónicos, 721
- 18.6 Frenos de tambor con zapata corta, 722
- 18.7 Frenos de tambor con zapatas externas largas, 726
- 18.8 Frenos de tambor con zapatas internas largas, 733
- 18.9 Frenos de banda, 735
- 18.10 Materiales, 738

### Capítulo 19 Elementos de máquinas diversos, 748

- 19.1 Introducción, 748
- 19.2 Bandas planas, 749
- 19.3 Correas en V, 751
- 19.4 Correas dentadas, 755
- 19.5 Cadenas de rodillos, 755
- 19.6 Cadenas de dientes invertidos, 758
- 19.7 Antecedentes históricos de las transmisiones hidrodinámicas, 759
- 19.8 Acoplamientos hidráulicos, 760
- 19.9 Convertidores hidrodinámicos de par de torsión, 764

### Apéndice A Unidades, 771

- A-1a Factores de conversión para unidades del sistema gravitacional británico, del sistema inglés de ingeniería y del Sistema Internacional (SI), 771
- A-1b Factores de conversión listados por magnitud física, 772
- A-2a Prefijos convencionales del SI, 774
- A-2b Unidades y símbolos del SI, 775
- A-3 Prefijos del SI sugeridos para cálculos de esfuerzo, 776
- A-4 Prefijos del SI sugeridos para cálculos de deflexión lineal, 776
- A-5 Prefijos del SI sugeridos para cálculos de deflexión angular, 776

### Apéndice B Propiedades de secciones y sólidos, 777

- B-1a Propiedades de las secciones
- B-1b Dimensiones y propiedades de tubos de acero y secciones de tubería, 778
- B-2 Masa y momentos de inercia de masa de sólidos homogéneos, 780

### Apéndice C Materiales: propiedades y usos 781

- C-1 Propiedades físicas de metales comunes, 781
- C-2 Propiedades a la tensión de algunos metales, 782
- C-3a Propiedades mecánicas y usos comunes del hierro fundido gris, 783
- C-3b Propiedades mecánicas y usos comunes del hierro fundido maleable, 784
- C-3c Propiedades mecánicas promedio y usos comunes del hierro dúctil (nodular), 785
- C-4a Propiedades mecánicas de aleaciones de carbono y acero seleccionadas, 786
- C-4b Usos característicos de los aceros al carbono simples, 788
- C-5a Propiedades de algunos aceros templados y enfriados bruscamente en agua, 789
- C-5b Propiedades de algunos aceros al carbono templados y enfriados bruscamente en aceite, 790

- C-5c Propiedades de algunos aceros aleados enfriados en aceite y templados, 791
- C-6 Efecto de la masa en las propiedades de resistencia del acero, 792
- C-7 Propiedades mecánicas de algunos aceros con endurecimiento superficial, 793
- C-8 Propiedades mecánicas de algunos aceros inoxidables dulces, 794
- C-9 Propiedades mecánicas de algunas superaleaciones con base de hierro, 795
- C-10 Propiedades mecánicas, características y usos comunes de algunas aleaciones de aluminio dulce, 796
- C-11 Propiedades a la tensión, características y usos comunes de algunas aleaciones de fundición de aluminio, 797
- C-12 Designaciones de las aleaciones de aluminio y magnesio según el método de templado, 798
- C-13 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de cobre, 799
- C-14 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de magnesio, 800
- C-15 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de níquel, 801
- C-16 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de titanio dulce, 802
- C-17 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de fundición de zinc, 803
- C-18a Propiedades mecánicas representativas de algunos plásticos comunes, 804
- C-18b Propiedades de algunas resinas termoplásticas comunes reforzadas con vidrio y sin reforzar, 805
- C-18c Aplicaciones representativas de los plásticos comunes, 806
- C-19 Clases de materiales y miembros seleccionados de cada clase, 807
- C-20 Subconjuntos de materiales de ingeniería para el diseñador, 808
- C-21 Métodos de procesamiento utilizados con mayor frecuencia en diferentes materiales, 809
- C-22 Facilidad de los materiales para formar uniones, 810
- C-23 Materiales para elementos de máquinas, 811
- C-24 Relaciones entre modos de falla y propiedades de los materiales, 813

### Apéndice D Ecuaciones de cortante, momento y deflexión para vigas, 814

- D-1 Ecuaciones de cortante, momento y deflexión para vigas en voladizo, 814
- D-2 Ecuaciones de cortante, momento y deflexión para vigas simplemente apoyadas, 815
- D-3 Ecuaciones de cortante, momento y deflexión para vigas con extremos fijos, 817
- D-4 Programa para determinar las deflexiones elásticas de flechas escalonadas, 818

### Apéndice E Ajustes y tolerancias, 822

- E-1 Ajustes y tolerancias para barrenos y flechas, 822
- Índice, 823