

# Contenido

---

## 1 Introducción 1

- 1.1 Mecánica de materiales 1
- 1.2 Estructuras de ingeniería 2
- 1.3 Análisis y diseño 3
- 1.4 Sistema de medida 4

## 2 Esfuerzo y deformación 5

- 2.1 Introducción 5
- 2.2 Esfuerzo 5
- 2.3 Deformación 10
- 2.4 Elasticidad 11
- 2.5 Relación entre esfuerzo y deformación 12
- 2.6 Cálculo de la deformación 13
- 2.7 Diagrama esfuerzo-deformación unitaria 15
- 2.8 Diagramas esfuerzo-deformación unitaria para otros materiales 18
- 2.9 Módulo o relación de Poisson 21
- 2.10 Esfuerzos cortantes 21
- 2.11 Esfuerzo de aplastamiento 25
- 2.12 Definiciones 26
- 2.13 Comentarios adicionales 29
- Problemas 30

## 3 Torsión 39

- 3.1 Introducción 39
- 3.2 Esfuerzo cortante 41

- 3.3 Esfuerzo cortante en flechas o ejes huecos de sección circular 45
- 3.4 Esfuerzo cortante y deformación 47
- 3.5 Angulo de torsión 48
- 3.6 Ejes giratorios (árboles de transmisión) 51
- 3.7 Acoplamiento de flechas o ejes 55
- 3.8 Resortes helicoidales 57
- 3.9 Deflexión de resortes helicoidales 59
- 3.10 Torsión de secciones no circulares 61
- Problemas 63

## 4 Diagramas de momentos flexionantes y fuerzas cortantes 69

- 4.1 Introducción 69
- 4.2 Fuerza cortante y momento flexionante 71
- 4.3 Diagramas de momentos flexionantes 72
- 4.4 Convención de signos 72
- 4.5 Construcción de diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes 73
- Problemas 79
- 4.6 Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes: relaciones importantes 82
- 4.7 Procedimientos para trazar diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes 83
- 4.8 Localización de puntos de momento máximo 86
- 4.9 Valores del momento por suma de áreas 91
- 4.10 Pares 94
- 4.11 Uso de tablas 97
- 4.12 Combinaciones de casos 98

## 5 Esfuerzos en vigas 101

- 5.1 Introducción 101
- Sección A | Análisis de vigas 102
- 5.2 Esfuerzos de flexión 102
- 5.3 Fórmula de la flexión 103
- 5.4 Uso de la fórmula de la flexión 105
- 5.5 Esfuerzos cortantes 111
- 5.6 Fórmula del esfuerzo cortante 113
- 5.7 Usos de la fórmula del esfuerzo cortante 114
- Sección B | Diseño de vigas 120
- 5.8 Consideraciones del diseño 120
- 5.9 Módulo de la sección 120
- 5.10 Diseño de vigas que tienen formas geométricas simples 120

- 5.11 Diseño usando perfiles estándar, disponibles comercialmente 123
- 5.12 Esfuerzo cortante en el diseño 126
- 5.13 Vigas no apoyadas lateralmente 127

## 6 Esfuerzos combinados

130

- 6.1 Introducción 130
  - Sección A | Esfuerzos normales combinados 131
- 6.2 Cargas combinadas, axiales y de flexión 131
- 6.3 Cargas excéntricas 135
- 6.4 Cargas axiales excéntricas con respecto a dos ejes 141
  - Sección B | Esfuerzos combinados, normal y cortante 145
- 6.5 Determinación del esfuerzo máximo 145
- 6.6 Esfuerzos sobre planos oblicuos 146
- 6.7 Determinación de esfuerzos sobre una sección oblicua 147
- 6.8 Fórmulas generales para el esfuerzo en un punto 151
- 6.9 Esfuerzos principales 154
- 6.10 Esfuerzos cortantes máximos 157
- 6.11 Círculo de Mohr 159
- 6.12 Diseño de ejes sujetos a esfuerzos de flexión y cortante combinados 165
- 6.13 Círculo de Mohr para esfuerzos tridimensionales 168
- 6.14 Ecuaciones generales para la deformación 172
- 6.15 Círculo de Mohr para deformaciones 176
- 6.16 Aplicaciones de las medidas de las deformaciones 178

## 7 Deflexión de vigas

182

- 7.1 Introducción 182
- 7.2 Relación entre curvatura y momento
  - Sección A | Deflexiones en vigas por integración 186
- 7.3 Base del método 186
- 7.4 Relaciones útiles 187
- 7.5 Procedimiento de la doble integración 189
- 7.6 Funciones singulares para deflexiones de vigas 197

Sección B | Método del  
área de momentos 201

- 7.7 El primer teorema del área de momentos 201
- 7.8 Segundo teorema del área de momentos 203
- 7.9 Teorema del área de momentos: notas generales 204
- 7.10 Teorema del área de momentos aplicados a vigas en voladizo 206
- 7.11 Método del área de momentos aplicados a vigas simplemente apoyadas 210
- 7.12 Diagramas de momentos por partes 214
- 7.13 Método del área de momentos; soluciones usando diagramas de momentos por partes 218
- 7.14 Vigas con  $EI$  variable 222

Sección C | Superposición 225

- 7.15 Fórmulas estándar 226
- 7.16 Procedimientos de superposición 227

Sección D | Método del peso elástico 229

- 7.17 Principios del método de los pesos elásticos 230
- 7.18 Uso del método de los pesos elásticos 231
- 7.19 Combinación de los métodos de los pesos elásticos y del área de momentos 233

**8 Vigas estáticamente indeterminadas**

235

- 8.1 Introducción 235
- 8.2 Métodos de análisis 236

Sección A | Método de  
superposición 237

- 8.3 Método general 237
- 8.4 Procedimiento de superposición 239
- 8.5 Vigas estáticamente indeterminadas de grado mayor que uno 242
- 8.6 Vigas con apoyos elásticos 245
- 8.7 Diagramas de momentos y fuerzas cortantes 249

Sección B | La ecuación de  
los tres momentos 250

- 8.8 Un método analítico alternativo 250
- 8.9 La ecuación de los tres momentos 250
- 8.10 Uso de la ecuación de los tres momentos 252

**9 Columnas 257**

- 9.1 Introducción 257
- 9.2 Fórmula de Euler para columnas 258
- 9.3 Fórmulas de Euler para otras condiciones de los extremos 261
- 9.4 Esfuerzo crítico 263
- 9.5 Fórmulas para columnas intermedias 266
- 9.6 Diseño de columnas 268
- 9.7 Fórmulas de AISC para columnas 269
- 9.8 Fórmula de J. B. Johnson 271
- 9.9 Condiciones de los extremos en el diseño de columnas 273  
Problemas 282
- 9.10 Columnas cargadas excéntricamente y columnas viga 284

**10 Otras aplicaciones del esfuerzo y la deformación 287****Sección A | Sistemas estáticamente indeterminados para cargas axiales 287**

- 10.1 Introducción 287
- 10.2 Método general de solución 288

**Sección B | Sistemas estáticamente indeterminados para fuerzas de torsión 293**

- 10.3 Método de análisis 293

**Sección C | Esfuerzos por temperatura 297**

- 10.4 Movimiento térmico 297
- 10.5 Principios básicos 298
- 10.6 Método de solución para problemas estáticamente indeterminados 299
- 10.7 Combinación de problemas estáticamente indeterminados y esfuerzos por temperatura 302

**Sección D | Recipientes a presión 305**

- 10.8 Presiones en fuidos 305
- 10.9 Fuerzas en recipientes cilíndricos 306
- 10.10 Esfuerzos en las paredes de los recipientes cilíndricos 308
- 10.11 Fuerzas longitudinales en recipientes cilíndricos 309
- 10.12 Esfuerzos circunferenciales y longitudinales 310
- 10.13 Recipientes esféricos 311
- 10.14 Cilindros de pared gruesa 312

Sección E | Concentraciones de esfuerzos y fatiga 313

- 10.15 Concentraciones de esfuerzo 313
- 10.16 Concentraciones de esfuerzo en el diseño 314
- 10.17 Carga de fatiga 318
- 10.18 Esfuerzos por fatiga 318

**11 Tópicos avanzados en flexión 320**

- 11.1 Introducción 320
- 11.2 Flexión asimétrica 320
- 11.3 Secciones transversales asimétricas 323
- 11.4 Centro de cortante 330
- 11.5 Determinación del centro de cortante 333
- 11.6 Centro de cortante y flexión asimétrica en el diseño 336

**12 Comportamiento inelástico 341**

- 12.1 Introducción 341
- 12.2 Comportamiento de los Materiales 342

Sección A | Cargas axiales 343

- 12.3 Miembros estáticamente determinados 343
- 12.4 Miembros estáticamente indeterminados 346
- 12.5 Ductilidad y Diseño 351
- 12.6 Otros Materiales 352

Sección B | Cargas de torsión 354

- 12.7 Ejes estáticamente determinados 354
- 12.8 Valor último del par de torsión 357
- 12.9 Ductilidad y Diseño 358

Sección C | Cargas de flexión 359

- 12.10 Comportamiento bajo flexión 359
- 12.11 Flexión inelástica 359
- 12.12 Factor de forma 362
- 12.13 Relaciones momento-curvatura 364
- 12.14 Redistribución de momentos 368

**13 Métodos energéticos 372**

- 13.1 Introducción 372
  - Sección A | Energía de deformación 372
- 13.2 Trabajo y energía 372

- 13.3 Energía de deformación para cargas axiales 375
- 13.4 Energía de deformaciones para cargas de flexión 376
- 13.5 Energía de deformación para cargas cortantes 379
- 13.6 Energía de deformaciones para cargas de torsión 380
- 13.7 Limitaciones del método del trabajo real 382

Sección B | Trabajo virtual 384

- 13.8 Método del trabajo virtual 384
- 13.9 Trabajo virtual para cargas axiales 385
- 13.10 Trabajo virtual para cargas de flexión 387
- 13.11 Trabajo virtual para cargas de torsión 390
- 13.12 Trabajo virtual para cargas combinadas 390

Sección C | Teorema de Castigliano 395

- 13.13 Teoría y aplicación del teorema de Castigliano 395

Sección D | Cargas dinámicas 399

- 13.14 Cargas de impacto 399

## **14 Conexiones 404**

- 14.1 Introducción 404

Sección A | Conexiones soldadas 405

- 14.2 Conexiones soldadas 405
- 14.3 Diseño de soldaduras 406
- 14.4 Miembros asimétricos 410
- 14.5 Comentarios adicionales sobre soldadura 412
- 14.6 Conexiones soldadas cargadas excéntricamente 414

Sección B | Conexiones remachadas y atornilladas 420

- 14.7 Conexión de miembros estructurales 420
- 14.8 Conexiones remachadas 421
- 14.9 Análisis de juntas remachadas 421
- 14.10 Conexiones atornilladas 425
- 14.11 Conexiones remachadas y atornilladas cargadas excéntricamente 428
- 14.12 Conexiones remachadas y atornilladas cargadas excéntricamente (solución alternativa) 433

## **15 Propiedades de los materiales 436**

- 15.1 Introducción 436
- 15.2 Propiedades mecánicas 437

- 15.3 Ductilidad y fragilidad 438
- 15.4 Ensaye de materiales 439
- 15.5 Máquinas de ensaye 439

## A APENDICES

### Repaso de estática

447

- A.1 Introducción 447
- A.2 Fuerzas y vectores 447
- A.3 Resultantes de sistemas de fuerzas concurrentes 448
- A.4 Componentes de una fuerza 449
- A.5 Uso de componentes para determinar resultantes 452
- A.6 Equilibrio de fuerzas concurrentes 453
- A.7 Momento de una fuerza 457
- A.8 Pares 459
- A.9 Descomposición de una fuerza en otra fuerza que pasa por otro lugar y un par 459
- A.10 Equilibrio de sistemas de fuerza no concurrentes 463
- A.11 Diagramas de cuerpo libre 463
- A.12 Método de solución 466
- A.13 Fuerzas distribuidas 472
- A.14 Centro de gravedad 475
- A.15 Centroide de una área 478
- A.16 Centroides de áreas compuestas 478
- A.17 Momento de inercia 483
- A.18 Teorema de los ejes paralelos 485
- A.19 Momento de inercia de áreas compuestas 487
- A.20 Momento polar de inercia 490
- A.21 Producto de inercia 492
- A.22 Momento de inercia para ejes girados 495
- A.23 Momentos de inercia principales 497
- A.24 Círculo de Mohr para momentos de inercia 498
- A.25 Radio de giro 505

## B Dedución sin uso del cálculo de fórmulas de esfuerzos básicos

507

- B.1 Introducción 507
- B.2 Esfuerzo cortante en ejes de sección circular 507
- B.3 Fórmula de la flexión 509
- B.4 Fórmula del esfuerzo cortante 511

<b>C</b>	<b>Propiedades físicas promedio de materiales comunes</b>	<b>513</b>
<b>D</b>	<b>Diagramas de vigas</b>	<b>516</b>
<b>E</b>	<b>Propiedades de secciones geométricas</b>	<b>520</b>
<b>F</b>	<b>Esfuerzo de compresión admisible para acero de 36 kib/plg<sup>2</sup></b>	<b>522</b>
<b>G</b>	<b>Roscas estándar para tornillos</b>	<b>523</b>
<b>H</b>	<b>Dimensiones y propiedades de tubos</b>	<b>524</b>
<b>I</b>	<b>Propiedades de dimensiones estándar de piezas de madera</b>	<b>525</b>
<b>J</b>	<b>Perfiles laminados de acero estructural</b>	<b>528</b>
	Perfiles W	528
	Perfiles S	534
	Canales	536
	Angulos	538
	<b>Respuestas a problemas selectos</b>	<b>543</b>
	<b>Indice</b>	<b>553</b>
	<b>Relaciones equivalentes para estimación de diseño (Inglesas/SI)</b>	<b>558</b>
	<b>Equivalencias SI y Unidades Inglesas</b>	<b>560</b>