

---

# Contenido

<b>1</b>	<b> Materiales en ingeniería</b>	<b>1</b>
1.1	Tipos de materiales 2	
	a <i>Metales</i> 3	
	b <i>Cerámicas (y vidrios)</i> 5	
	c <i>Polímeros</i> 8	
	d <i>Compuestos</i> 12	
	e <i>Semiconductores</i> 13	
1.2	De la estructura a las propiedades 14	
1.3	Selección de los materiales 20	
	a <i>Alternativas entre los 5 tipos de materiales</i> 20	
	b <i>Selección de un metal óptimo</i> 22	
	c <i>Selección del sustituto de un metal</i> 23	
1.4	Ciencia e ingeniería de materiales 25	

---

PARTE I

## Los fundamentos

<b>2</b>	<b> Enlazamiento atómico</b>	<b>31</b>
2.1	Estructura atómica 32	
2.2	El enlace iónico 37	
	a <i>Número de coordinación</i> 43	
2.3	El enlace covalente 50	
2.4	El enlace metálico 57	
2.5	El enlace secundario de van der Waals 59	
2.6	Materiales: clasificación por sus enlazamientos 62	
<b>3</b>	<b> Estructura cristalina—perfección</b>	<b>73</b>
3.1	Siete sistemas y catorce retículos 74	
3.2	Posiciones, direcciones y planos reticulares 79	

- 3.3 Estructuras de metales 87
- 3.4 Estructuras de cerámicas 94
- 3.5 Estructuras de polímeros 106
- 3.6 Estructuras de semiconductores 109
- 3.7 Difracción de rayos X 114

## 4 Estructura no cristalina—imperfección 131

- 4.1 La solución sólida—imperfección química 132
- 4.2 Defectos puntuales—imperfección “cerodimensional” 138
  - a *Producción térmica de defectos puntuales* 140
  - b *Defectos puntuales y difusión de estado sólido* 144
- 4.3 Defectos lineales o “dislocaciones”—imperfección unidimensional 157
  - a *Dislocaciones y deformación mecánica* 160
- 4.4 Defectos planares, imperfección bidimensional 170
- 4.5 Sólidos no cristalinos—imperfección tridimensional 178
- 4.6 Cuasicristales 182
- 4.7 Fractales 188
- 4.8 Microscopía electrónica 191

## 5 Diagramas de fases—desarrollo de la microestructural en equilibrio 209

- 5.1 La regla de las fases 210
- 5.2 El diagrama de fases 214
  - a *Solución sólida completa* 215
  - b *Diagrama eutéctico sin solución sólida* 217
  - c *Diagrama eutéctico con solución sólida limitada* 219
  - d *Diagrama eutectoide* 220
  - e *Diagrama peritético* 222
  - f *Diagramas binarios generales* 224
- 5.3 La regla de la palanca 227
- 5.4 Desarrollo microestructural, durante enfriamiento lento 229
- 5.5 Algunos diagramas binarios importantes 235
  - a *Sistema Fe-Fe<sub>3</sub>C* 236
  - b *Sistema Fe-C* 240
  - c *Sistema Al-Si* 241
  - d *Sistema Al-Cu* 242
  - e *Sistema Al-Mg* 242
  - f *Sistema Cu-Ni* 244
  - g *Sistema Cu-Zn* 244
  - h *Sistema Pb-Sn* 244
  - i *Sistema Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>* 246
  - j *Sistema MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* 247

k *Sistema NiO-MgO* 248

l *Sistema CaO-ZrO<sub>2</sub>* 248

## 6 Cinética—tratamiento térmico 263

- 6.1 El tiempo—la tercera dimensión 264
- 6.2 El diagrama TTT 269
  - a *Transformaciones difusionales* 270
  - b *Transformaciones sin difusión* 272
  - c *Tratamiento térmico del acero* 274
- 6.3 Endurecimiento 284
- 6.4 Endurecimiento por precipitación 287
- 6.5 Recocido 291
  - a *Trabajo en frío* 292
  - b *Recuperación* 292
  - c *Recristalización* 293
  - d *Crecimiento de grano* 293
- 6.6 La cinética de las transformaciones de fases para no metales 297

## PARTE II

## Los materiales estructurales

## 7 Metales 311

- 7.1 Aleaciones ferrosas 312
  - a *Aceros al carbono y de baja aleación* 312
  - b *Aceros de alta aleación* 314
  - c *Hierros fundidos* 317
  - d *Aleaciones solidificadas rápidamente* 319
- 7.2 Aleaciones no ferrosas 324
- 7.3 Principales propiedades mecánicas 329
  - a *Esfuerzo contra deformación* 329
  - b *Dureza* 347
  - c *Energía de impacto* 350
  - d *Tenacidad a la fractura* 355
  - e *Fatiga* 357
  - f *Cedencia* 363

## 8 Cermámicas y vidrios 379

- 8.1 Cerámicas—materiales cristalinos 380
- 8.2 Vidrios—materiales no cristalinos 384
- 8.3 Cerámicas de vidrio 387
- 8.4 Principales propiedades mecánicas 389

- a *Fractura por fragilidad* 389
- b *Fatiga estática* 394
- c *Cedencia* 396
- d *Choque térmico* 396
- e *Deformación viscosa de los vidrios* 403
- 8.5 Principales propiedades ópticas 413
  - a *Índice de refracción* 413
  - b *Reflectancia* 414
  - c *Transparencia, translucidez y opacidad* 417
  - d *Color* 417

## 9 Polímeros

431

- 9.1 Polimerización 432
- 9.2 Rayos estructurales de los polímeros 439
- 9.3 Polímeros termoplásticos 445
- 9.4 Polímeros termoendurecidos 451
- 9.5 Aditivos 457
- 9.6 Principales propiedades mecánicas 458
  - a *Módulo de flexión y módulo dinámico* 459
  - b *Deformación viscoelástica* 461
  - c *Deformación elastomérica* 463
  - d *Deformación por cedencia y relajación del esfuerzo* 465
  - e *Datos mecánicos* 468
- 9.7 Principales propiedades ópticas 473

## 10 Compuestos

483

- 10.1 Compuestos artificiales con fibras de repuesto 485
- 10.2 Madera—un compuesto natural reforzado con fibra 490
- 10.3 Compuestos agregados o aglomerados 493
- 10.4 Promedio de propiedades 500
  - a *Carga paralela a las fibras de refuerzo-isodeformación* 500
  - b *Carga perpendicular a las fibras de refuerzo-isoefuerzo* 504
  - c *Carga a un compuesto aglomerado disperso uniformemente* 507
  - d *Resistencia interfacial* 511
- 10.5 Principales propiedades mecánicas 512

### PARTE III

## Los materiales electrónicos y magnéticos

### 11 Conducción eléctrica

527

- 11.1 Portadores de carga y conducción 528

- 11.2 Niveles de energía y bandas de energía 533
- 11.3 Conductores 540
  - a *Termopares* 544
  - b *Superconductores* 547
  
- 11.4 Aislantes 553
  - a *Ferroeléctricos y piezoeléctricos* 555
- 11.5 Semiconductores 562
- 11.6 Compuestos 564
- 11.7 Materiales—la clasificación eléctrica 565

## 12 Semiconductores

573

- 12.1 Semiconductores elementales intrínsecos 574
- 12.2 Semiconductores elementales extrínsecos 579
  - a *Semiconductores tipo n* 580
  - b *Semiconductores tipo p* 584
- 12.3 Semiconductores compuestos 590
- 12.4 Semiconductores amorfos 591
- 12.5 Dispositivos sencillos 593
- 12.6 Propiedades eléctricas principales 603

## 13 Materiales magnéticos

617

- 13.1 Magnetismo 618
- 13.2 Ferromagnetismo 623
- 13.3 Ferrimagnetismo 631
- 13.4 Materiales magnéticos metálicos 633
  - a *Materiales magnéticos blandos* 633
  - b *Materiales magnéticos duros* 636
  - c *Materiales magnéticos superconductores* 637
- 13.5 Materiales magnéticos cerámicos 639
  - a *Materiales magnéticos de baja conductividad* 640
  - b *Materiales magnéticos superconductores* 641

---

## PARTE IV

# Materiales en el diseño de ingeniería

## 14 Degradación ambiental

651

- 14.1 Oxidación—ataque atmosférico directo 653
- 14.2 Corrosión acuosa—ataque electroquímico 658
- 14.3 Corrosión galvánica de dos metales 660

- 14.4 Corrosión por reducción gaseosa 664
- 14.5 Efecto del esfuerzo mecánico sobre la corrosión 668
- 14.6 Métodos para prevenir la corrosión 669
- 14.7 Degradación química de las cerámicas y polímeros 673
- 14.8 Daños por radiación 673
- 14.9 Desgaste 677
- 14.10 Análisis de superficie 679

## 15 Selección de materiales 691

- 15.1 Propiedades de los materiales—parámetros de diseño de ingeniería 692
- 15.2 Efectos generales de los procesos sobre los parámetros 693
- 15.3 Selección de materiales estructurales—casos para estudio 722
  - a *Sustitución de metales con un polímero* 722
  - b *Sustitución de metales con compuestos* 723
  - c *Metal y polímero para reemplazo de la articulación de la cadera* 724
- 15.4 Selección de materiales magnéticos y electrónicos—casos para estudio 726
  - a *Sustitución de cable de cobre por fibra de vidrio* 726
  - b *Reemplazo de un polímero termoendurecido con un termoplástico* 727
  - c *Uso de un metal amorfo para el núcleo de un transformador* 728

## Apéndices 735

- 1 Datos físicos y químicos de los elementos 737
- 2 Radio atómico y iónico de los elementos 741
- 3 Constantes y factores de conversión 745
- 4 Localización de propiedades para los materiales estructurales 746
- 5 Localización de propiedades para los materiales electrónicos y magnéticos 748
- 6 Localización de caracterización de materiales 749
- 7 Glosario 750

## Respuestas a los ejercicios de ejemplo (EM) y a los problemas con número impar 771

## Índice 785