

INDICE

1. Ciencia e Ingeniería de los Materiales	2
1.1. Introducción	4
1.2. El papel de los materiales en las sociedades tecnológicamente avanzadas	4
1.3. La profesión de ingeniería y los materiales	6
1.4. Clase principales de materiales	7
1.4.1. Metales	8
1.4.2. Cerámicas	8
1.4.3. Polímeros	9
1.4.4. Materiales compuestos	10
1.4.5. Semiconductores	12
1.5. Propiedades de materiales e ingeniería de materiales	13
1.6. El método integrado de ingeniería de materiales	15
1.7. Profesionalismo y ética en ingeniería	17
Resumen	18
Parte I. Fundamentos	20
2. Estructuras a Escala Atómica	22
2.1. Introducción	24
2.2. Estructura atómica	24
2.3. Termodinámica y cinética	27
2.4. Enlaces primarios	30
2.4.1. Enlace iónico	30
2.4.2. Enlace covalente	34
2.4.3. Enlace metálico	35
2.4.4. Influencia del tipo de enlace sobre las propiedades ingenieriles	36
2.5. La curva de energía de enlace	38
2.6. Empaquetamiento atómico y números de coordinación	42
2.7. Enlaces secundarios	47
2.8. Enlace mixto	50
2.9. La estructura de las moléculas de polímero	50
Resumen	52
Glosario	53
Problemas de tarea	54
3. Estructuras Cristalinas	58
3.1. Introducción	60
3.2. Redes de Bravais y celdas unitarias	60
3.3. Cristales con un átomo por sitio de red y cristales hexagonales	63
3.3.1. Cristales cúbicos centrados en el cuerpo	63
3.3.2. Cristales cúbicos centrados en la cara	65
3.3.3. Estructuras hexagonales compactas	67
3.4. Índice de Miller	69
3.4.1. Coordenadas de puntos	69
3.4.2. Índice de direcciones	71
3.4.3. Índices de planos	73
3.4.4. Índice en el sistema hexagonal	75
3.5. Densidades y factores de empaquetamiento de las estructuras cristalinas	75

3.5.1. Densidad lineal	75
3.5.2. Densidad planar	77
3.5.3. Densidad volumétrica	79
3.5.4. Factores de empaquetamiento atómica y número de coordinación	80
3.5.5. Estructuras de empaquetamiento compacto	80
3.6. Posiciones y tamaños intersticiales	82
3.6.1. Intersticios en la estructura CCC	82
3.6.2. Intersticios en la estructura CC	84
3.6.3. Intersticios en la estructura HC	84
3.7. Cristales con varios átomos por sitio de red	85
3.7.1. Cristales con 2 átomos por sitio de red	85
3.7.2.3 Cristales con tres átomos por sitio de red	89
3.7.3. Otras estructuras cristalinas	90
3.8. Cristales líquidos	91
3.9. Monocristales y materiales policristalinos	92
3.10. Alotropía y polimorfismo	93
3.11. Anisotropía	95
3.12. Difracción de rayos X	95
Resumen	100
Glosario	101
Problemas de tarea	101
4. Defectos Puntuales y Difusión	106
4.1. Introducción	108
4.2. Defectos puntuales	108
4.2.1. Vacancias e intersticiales en los cristales	108
4.2.2. Vacancias e intersticiales en cristales iónicos	111
4.3. Impurezas	112
4.3.1. Impurezas en los cristales	112
4.3.2. Impurezas en los cristales iónicos	116
4.4. Difusión en estado sólido	118
4.4.1. Ejemplos prácticos de la difusión	119
4.4.2. Descripción física de la difusión (primera	111
4.3. Impurezas	112
4.3.1. Impurezas en los cristales	112
4.3.2. Impurezas en los cristales iónicos	116
4.4. Difusión en estado sólido	118
4.4.1. Ejemplos prácticos de la difusión	119
4.4.2. Descripción física de la difusión (primera ley de Fick)	120
4.4.3. Mecanismos de difusión en cristales covalentes y metálicos	123
4.4.4. Difusión para distintos niveles de concentración	125
4.4.5. Mecanismos de difusión en los cristales iónicos	127
4.4.6. Mecanismos de difusión en polímeros	128
4.4.7. Segunda ley de Fick	130
Resumen	136
Glosario	136
Problemas de tarea	137
5. Defectos Lineales, Superficiales (O Planares) y Volumétricos	140
5.1. Introducción	142

5.2. Defectos lineales, deslizamiento y deformación plástica	142
5.2.1. La resistencia cortante de los monocristales deformables	142
5.2.2. Deslizamiento en materiales cristalinos y dislocaciones de borde	146
5.2.3. Otros tipos de dislocaciones	150
5.2.4. Plano y direcciones de deslizamiento en cristales metálicos	153
5.2.5. Dislocaciones en cristales iónicos, covalentes y poliméricos	156
5.2.6. Otros efectos de la dislocaciones sobre las propiedades de los materiales	160
5.3. Defectos superficiales (o planares)	160
5.3.1. Superficies libres en los cristales	160
5.3.2. Fronteras de granos de cristales	162
5.3.3. Medición del tamaño del grano	162
5.3.4. Difusión en límite del grano	164
5.3.5. Otros defectos superficiales (o planares)	165
5.4. Defectos volumétricos	166
5.5. Mecanismos de fortalecimiento en los metales	168
5.5.1. Aleaciones para obtener resistencia	168
5.5.2. Endurecimiento por deformación	169
5.5.3. Refinamiento de grano	171
5.5.4. Endurecimiento por precipitación	172
Resumen	173
Glosario	174
Problemas de tarea	174
6. Materiales no Cristalinos y Semicristalinos	178
6.1. Introducción	180
6.2. La temperatura de transición vítrea	180
6.3. Deformación viscosa	183
6.4. Estructura y propiedades de polímeros amorfos y semicristalinos	186
6.4.1. Clasificación de los polímeros	186
6.4.2. Peso molecular	192
6.4.3. Conformaciones y configuraciones de los polímeros	193
6.4.4. Factores que determinan la cristalinidad de los polímeros	196
6.4.5. Polímeros semicristalinos	198
6.4.6. Relación entre la estructura y T _g	199
6.5. Estructura y propiedades de los vidrios	200
6.5.1. Vidrios iónicos	201
6.5.2. Vidrios covalentes	204
6.5.3. Vidrios metálicos	205
6.6. Estructura y propiedades de hules y elastómeros	205
6.6.1. Elastómeros termoestables	206
6.6.2. Elastómeros termoplásticos	207
6.6.3. Cristalización en los hules	208
6.6.4. Dependencia térmica del módulo de elasticidad	209
6.6.5. Elasticidad del hule	210
Resumen	212
Glosario	213
Problemas de tarea	213
Parte II. Desarrollo Microestructural	216

7. Equilibrios y Diagramas de fases	218
7.1. Introducción	220
7.2. Diagrama de fases de un componente	221
7.3. Equilibrios de fases en un sistema de dos componentes	224
7.3.1. Especificación de la composición	224
7.3.2. El diagrama isomorfo para sistemas ideales	225
7.3.3. Fases en equilibrio y la regla de la palanca	227
7.3.4. Solidificación y microestructura de las aleaciones isomorfas	230
7.3.5. Determinación de las fronteras líquidas y sólidas	232
7.3.6. Sistemas isomorfos específicos	233
7.3.7. Desviaciones del comportamiento ideal	233
7.4. Diagrama de fases eutéctico	238
7.4.1. Definiciones de términos en el sistema eutéctico	239
7.4.2. Fusión y solidificación de aleaciones eutécticas	240
7.4.3. Solidificación de las aleaciones no eutécticas	241
7.4.4. Métodos para determinar un diagrama de fases	246
7.4.5. Diagramas de fases con dos eutécticos	248
7.5. Diagrama de fases peritético	250
7.6. Diagrama de fases monotético	254
7.7. Diagrama complejos	255
7.8. Equilibrios de fases donde intervienen reacciones entre sólidos	257
7.8.1. Sistemas eutectoides	258
7.9. Equilibrios de fases en sistemas de tres componentes	261
7.9.1. Graficación de composiciones en un diagrama ternario	261
7.9.2. La regla de la palanca en los sistemas ternarios	264
Resumen	266
Glosario	266
Problemas de tarea	267
8. Cinética y Microestructura de Transformaciones Estructurales	276
8.1. Introducción	278
8.2. Aspectos fundamentales de las transformaciones estructurales	279
8.2.1. La naturaleza de una transformación de fase	279
8.2.2. La fuerza impulsora de un cambio de fase	280
8.2.3. Nucleación homogénea de una fase	282
8.2.4. Nucleación heterogénea de una fase	285
8.2.5. Interfases entre matriz y precipitado	287
8.2.6. Crecimiento de una fase	290
8.3. Aplicaciones a los materiales de ingeniería	293
8.3.1. Transformaciones de fases en los aceros	293
8.3.2. Precipitación desde una solución sólida sobresaturada	307
8.3.3. Solidificación y homogenización de una aleación	312
8.3.4. Procesos de recuperación y recristalización	317
8.3.5. Sinterizado	321
8.3.6. Transformaciones martensíticas (desplazantes) en la zirconia	324
8.3.7. Desvitrificación de un vidrio de óxido	325
8.3.8. Cristalización de los polímeros	326
Resumen	329
Glosario	330

Problemas de tarea	330
Parte III. Propiedades	342
9. Propiedades Mecánicas	344
9.1. Introducción	346
9.2. Deformación y fracturas de los materiales de ingeniería	346
9.2.1. Deformación elástica	347
9.2.2. Deformación de los polímeros	350
9.2.3. Deformación plástica	353
9.2.4. Pruebas de tensión	354
9.2.5. Mecanismos de endurecimiento	362
9.2.6. Fracturas dúctil y frágil	363
9.2.7. Medición de la dureza	365
9.2.8. Prueba de impacto de Charpy	367
9.3. Fractura Frágil	371
9.3.1. Ejemplos y secuencia de eventos que producen la fractura frágil	371
9.3.2. Teoría de Giffith – Orowan para pronosticar la fractura frágil	374
9.4. Mecánica de la fractura: método moderno	376
9.4.1. El parámetro de intensidad de esfuerzo	376
9.4.2. La influencia del espesor de la muestra	378
9.4.3. Relación entre la tenacidad de fractura y las propiedades de tensión	380
9.4.4. Aplicación de la mecánica de fractura a diversas clases de materiales	380
9.4.5. Determinación experimental de la tenacidad de fractura	383
9.5. Fractura por fatiga	384
9.5.1. Definiciones relacionadas con la fractura por fatiga	385
9.5.2. Pruebas de fatiga	386
9.5.3. Correlaciones entre la resistencia a la fatiga y otras propiedades mecánicas	387
9.5.4. Aspectos microscópicos de la fatiga	389
9.5.5. Prevención de las fracturas por fatiga	390
9.5.6. Un enfoque basado en la mecánica de fractura para fatiga	391
9.6. Comportamiento en dependencia del tiempo	394
9.6.1. Fractura inducida por el ambiente	394
9.6.2. Termofluencia en los metales y las cerámicas	395
9.6.3. Mecanismos de deformación por termofluencia	397
Resumen	401
Glosario	402
Problemas de tarea	402
10. Propiedades Eléctricas	410
10.1. Introducción	412
10.2. Conducción eléctrica	412
10.2.1. Carga port portador	416
10.2.2. Movilidad de carga	416
10.2.3. Diagramas de bandas de energía y cantidad de portadores de carga	419
10.2.4. La influencia de la temperatura sobre la conductividad eléctrica y la función de distribución de Fermi – Dirac	423
10.2.5. Conductores, semiconductores y aislantes	427

10.2.6. Mecanismo de conducción iónica	432
10.2.7. Influencia de los defectos y las impurezas	434
10.2.8. Polímeros conductores	436
10.2.9. Superconductividad	437
10.2.10. Dispositivos y aplicaciones	438
10.3. Semiconductores	439
10.3.1. Conducción intrínseca y extrínseca	439
10.3.2. Semiconductores compuestos	445
10.3.3. Papel de los defectos	446
10.3.4. Dispositivos simples	447
10.3.5. Microelectrónica	451
Resumen	453
Glosario	454
Problemas de tarea	454
11. Propiedades Ópticas y Dieléctricas	460
11.1. Introducción	462
11.2. Polarización	463
11.2.. Polarización electrónica	463
11.2.2. Polarización iónica	463
11.2.3. Polarización molecular	465
11.2.4. Polarización interfacial	465
11.2.5. Polarización neta	465
11.2.6. Aplicaciones	466
11.3. Constantes dialéctica y capacitancia	468
11.3.1. Capacitancia	468
11.3.2. Permisividad y constante dialéctica	469
11.3.3. Resistencia dieléctrica y falla disruptiva	471
11.4. Disipación y pérdida en dieléctrico	473
11.5. Refracción y reflexión	475
11.5.1. Refacción	475
11.5.2. Reflexión especular	478
11.5.3. Dispersión	478
11.5.4. Birrefringencia	480
11.5.5. Aplicación: guías de ondas ópticas	480
11.6. Absorción, trasmisión y dispersión	483
11.6.1. Absorción	483
11.6.2. Coeficiente de absorción	484
11.6.3. Absorción por cromóforos	485
11.6.4. Dispersión y opacidad	487
11.7. Procesos electrónicos	488
11.7.1. Fluorescencia de rayos X	488
11.7.2. Luminiscencia	489
11.7.3. Fosforescencia	490
11.7.4. Emisión térmica	490
11.7.5. Fotoconductividad	490
11.7.6. Aplicación: Los láseres	491
Resumen	492
Glosario	493

Problemas de tarea	492
12. Propiedades Magnéticas	498
12.1. Introducción	500
12.2. Los materiales y el magnetismo	500
12.3. Base física del magnetismo	501
12.4. Clasificación de los materiales magnéticos	503
12.5. Diamagnetismo y paramagnetismo	503
12.6. Ferromagnetismo	505
12.6.1. Dominios magnéticos	506
12.6.2. Respuesta de los materiales ferromagnéticos a los campos externos	507
12.6.3. la forma del ciclo de histéresis	509
12.6.4. Efectos microestructurales	510
12.6.5. Efectos de la temperatura	510
12.6.6. Estimación de la magnitud de M	510
12.7. Antiferromagnetismo y ferrimagnetismo	511
12.8. Dispositivos y aplicaciones	514
12.8.1. Imanes permanentes	514
12.8.2. Núcleo de transformador	516
12.8.3. Dispositivos de memoria magnética	518
12.9. Imanes superconductores	519
Resumen	521
Glosario	522
Problemas de tarea	522
13. Propiedades Térmicas	526
13.1. Introducción	528
13.2. Coeficiente de dilatación térmica	528
13.3. Capacidad calorífica	531
13.4. Mecanismos de conducción térmica	534
13.5. Esfuerzo térmicos	539
13.6. Aplicaciones	543
13.6.1. Bandas bimetálicas	543
13.6.2. Aislamiento térmico	543
13.6.3. Artículos de cocina resistentes al choque térmico	544
13.6.4. Vidrio templado	544
13.6.5. Estructura de soporte de los telescopio en órbita	545
13.6.6. Uniones de cerámica con metal	546
13.6.7. Materiales criogénicos	546
Resumen	547
Glosario	547
Problemas de tarea	548
14. Materiales Compuestos	552
14.1. Introducción	554
14.2. Historia y clasificación de los materiales compuestos	554
14.3. Conceptos generales	558
14.3.1. Fortalecimiento por refuerzo con fibras	558
14.3.2. Características de los materiales de las fibras	559
14.3.3. Características de los materiales de matriz	563

14.3.4. Papel de las interfases	564
14.3.5. Arquitectura de las fibras	566
14.3.6. Fortalecimiento en materiales compuestos de agregados	567
14.4. Sistemas compuestos prácticos	568
14.4.1. Materiales compuestos con matriz y de metal	568
14.4.2. Materiales compuestos con matriz de polímeros	568
14.4.3. Materiales compuesto con matriz de cerámica	569
14.4.4. Materiales compuestos carbono – carbono	570
14.5. Predicción de las propiedades de los materiales compuestos	571
14.5.1. Estimación del diámetro y fracción volumétrica de las fibras y la densidad del material compuesto	571
14.5.2. Estimación del modulo de elasticidad y la resistencia	571
14.5.3. Estimación del coeficiencia de dilatación térmica	575
14.5.4. Comportamiento de los materiales compuesto en la fractura	576
14.5.5. Comportamiento de los materiales compuestos a la fatiga	576
14.6. Otras aplicaciones de los materiales compuestos	579
14.6.1. Estimación de propiedades no mecánicos de materiales compuestos	581
Resumen	581
Glosario	582
Problemas de tarea	582
15. Interacciones entre los Materiales y el Ambiente	586
15.1. Introducción	588
15.2. Reacciones líquido – sólido	588
15.2.1. Mecanismos de disolución directa	590
15.2.2. Corrosión electroquímica; potenciales de media celda	593
15.2.3. Cinética de las reacciones de corrosión	599
15.2.4. Tipos específicos de corrosión	601
15.2.5. Prevención de la corrosión	613
15.3. Ataque atmosférico directo (reacciones gas - sólido)	615
15.3.1. Alteración de las estructuras de enlace por los gases atmosféricos	616
15.3.2. Formación de productos gaseosos de reacción	617
15.3.3. Óxidos sólidos protectores y no protectores	618
15.3.4. Cinética de la oxidación	620
15.3.5. Aprovechamiento del “ataque” atmosférico	624
15.3.6. Métodos de mejoramiento de la resistencia al ataque atmosférico	624
15.4. Fricción y desgaste (interacción sólido - sólido)	626
15.4.1. Mecanismos de desgastes	626
15.4.2. Diseños para minimizar la fricción y el desgaste	629
Resumen	630
Glosario	632
Problemas de tarea	632
Parte IV. Síntesis y Diseño de Materiales	638
16. Procesamiento de Materiales	640
16.1. Introducción	642
16.2. Criterios de selección de proceso e interrelación entre estructura, procesamiento y propiedades	642
16.3. Fundición	643

16.3.1. Fundición de metales	643
16.3.2. Moldeo de cerámica	648
16.3.3. Molde de polímeros	649
16.4. Conformado	650
16.4.1. Conformado de metales	650
Estudio de caso: Selección de proceso para una placa de acero	651
16.4.2. Conformado (moldelado) de polímeros	657
16.4.3. Molde de cerámicas y vidrio	658
16.5. Procesamiento de polvos	660
Estudio de caso: Especificación de la distribución de tamaño de polvo para producir catarinas de acero	662
16.5.2. Procesamiento de polvos de cerámicas	662
16.6. Maquinado	663
16.7. Procesos de unión	665
16.7.1. Soldadura, soldadura fuerte y blanda	665
16.7.2. Unión adhesiva	667
16.7.3. Unión por difusión	668
16.7.4. Uniones mecánicas	669
16.8. Recubrimientos y tratamientos superficiales	669
16.8.1. Aplicación de recubrimientos y pinturas	670
16.8.2. Tratamiento superficiales	671
Estudio de Caso: Selección de material y proceso para cigüeñales automotrices	672
16.9. Procesamiento de monocristales y semiconductores	672
16.9.1. Crecimiento y procesamiento de monocristales	672
16.9.2. Oxidación	674
16.9.3. Litografía y ataque	671
Estudio de caso: Selección de mascarilla para dopar obleas de Si	675
16.9.4. Difusión e implantación de iones	675
16.9.5. Interconexión, ensamblado y encapsulado	676
16.10. Fabricación de fibras	678
16.10.1. Hilado de fundido	678
16.10.2. Hilado en solución	679
16.10.3. Pirólisis controlado	679
16.10.4. Procesos en fase vapor	681
16.10.5. Sintetizado	682
16.10.6. Reacción química	682
16.11. Procesos de fabricación de materiales compuestos	683
16.11.1. Materiales compuestos de matriz de polímero	683
16.11.2. Materiales compuestos de matriz metálica	684
16.11.3. Materiales compuestos con matriz de cerámica	686
Resumen	686
Glosario	688
Problemas de tarea	688
17. Materiales y Diseño de Ingeniería	694
17.1. Introducción	696
17.2. Ingeniería de costos de ciclo de vida unificado	697
17.2.1. Costos de diseño y análisis	697
17.2.2. Costo de manufactura	698

17.2.3. Costo de operación	698
17.2.4. Costo de desecho	698
Estudio de caso: Consideración del costo en la selección de materiales	699
17.3. Selección de material y proceso	700
17.3.1. Bases de datos para selección de materiales	701
17.3.2. Normas de materiales y procesos	702
17.3.3. Impacto de la selección de materiales sobre el ambiente	703
Estudio de Caso: Selección de material para cápsulas de paquetes electrónicos	706
Estudio de Caso: Selección de material para un contenedor de desechos nucleares	708
Estudio de caso: Desarrollo de una aleación de cobre libre maquinando sin plomo	709
17.4. Evaluación de riesgos y responsabilidad por el producto	712
17.4.1. Estimación de la probabilidad de falla	713
17.4.2. Evaluación de la responsabilidad	715
17.4.3. Criterios de aseguramiento de la calidad	715
Estudio de caso: Criterios de inspección para ventiladores industriales grandes	716
17.5. Análisis y prevención de fallas	717
17.5.1. Practica general en el análisis de falla	717
Estudio de caso: Análisis de tubos de acero con costura para vapor	721
Estudio de Caso: Falla en conexiones de conductores en circuitos electrónicos	724
Estudio de caso: Falla en un tubo de polietileno	725
17.5.2. Análisis de falla en materiales compuestos	725
17.5.3. Prevención de fallas	727
Estudio de Caso: Estimación de intervalo de inspección para un recipiente aeroespacial a presión	728
Estudio de Caso: Elección de los lugares óptimos para sensores en pruebas ultrasónicas	732
Resumen	733
Problemas de tarea	733
Apéndices	
A. Tabla periódica	737
B. Datos físicos y químicos de los elementos	738
C. Radios atómicos y iones de los elementos	741
D. Propiedades mecánicas	743
E. Respuestas a problemas seleccionados	758
Glosario	761
Referencias	775
Índice	777