

Índice

Parte 1	Equilibrio	1	2.9	La dependencia de la entalpía de reacción respecto de la temperatura	56	
1	Propiedades de los gases	3	Función de estado y diferenciales exactas	57		
	El gas ideal	3	2.10	Diferenciales exactas e inexactas	57	
	1.1	Los estados de los gases	3	2.11	Cambios en la energía interna	59
	1.2	Las leyes de los gases	7	2.12	El efecto de Joule–Thompson	63
	11.1	Impacto en las ciencias medioambientales: las leyes de los gases y el clima	11	Listado de conceptos clave	67	
	Gases reales	14	Lecturas recomendadas	68		
	1.3	Interacciones moleculares	14	Información adicional 2.1: Procesos adiabáticos	69	
	1.4	La ecuación de van der Waals	17	Información adicional 2.2: La relación entre capacidades caloríficas	69	
	1.5	Principio de los estados correspondientes	21	Preguntas para el análisis	70	
	Listado de conceptos clave	23	Ejercicios	70		
	Lecturas recomendadas	23	Problemas	73		
	Preguntas para el análisis	23	3	Segunda ley de la termodinámica	76	
	Ejercicios	24		La dirección del cambio espontáneo	77	
	Problemas	25		3.1	La disipación de la energía	77
2	Primera ley de la termodinámica	28		3.2	Entropía	78
	Conceptos básicos	28		13.1	Impacto en la ingeniería: refrigeración	85
	2.1	Trabajo, calor y energía	29	3.3	Cambios de entropía que acompañan procesos específicos	87
	2.2	La energía interna	30	3.4	La tercera ley de termodinámica	92
	2.3	Trabajo de expansión	33	Perspectiva desde el sistema	94	
	2.4	Intercambios de calor	37	3.5	Las energías de Helmholtz y Gibbs	95
	2.5	Entalpía	40	3.6	Energía de Gibbs estándar de reacción	100
	12.1	Impacto en la bioquímica y en la ciencia de los materiales: calorimetría de escaneo diferencial	46	Combinación de la primera y la segunda ley	102	
	2.6	Cambios adiabáticos	47	3.7	La ecuación fundamental	102
	Termoquímica	49		3.8	Propiedades de la energía interna	103
	2.7	Cambios de entalpía estándar	49	3.9	Propiedades de la energía de Gibbs	105
	12.2	Impacto en la biología: alimentos y reserva de energía	52	Listado de conceptos clave	109	
	2.8	Entalpía estándar de formación	54	Lecturas recomendadas	110	
				Información adicional 3.1: La ecuación de Born	110	

Información adicional 3.2: Gases reales: la fugacidad	111	Actividad	158
Preguntas para el análisis	112	5.6 Actividad del solvente	158
Ejercicios	113	5.7 Actividad del soluto	159
Problemas	114	5.8 Actividades de las soluciones regulares	162
		5.9 Actividades de los iones en solución	163
4 Transformaciones físicas de las sustancias puras	117	Listado de conceptos clave	166
		Lecturas recomendadas	167
		Información adicional 5.1: Teoría de las soluciones iónicas de Debye-Hückel	167
Diagrama de fases	117	Preguntas para el análisis	169
4.1 Las estabildades de las fases	117	Ejercicios	169
4.2 Límites de las fases	118	Problemas	171
14.1 Impacto en la ingeniería química y la tecnología: fluidos supercríticos	119		
4.3 Tres diagramas de fases típicos	120	6 Diagramas de fases	174
Estabilidad de fase y transiciones de fases	122	Fases, componentes y grados de libertad	174
4.4 El criterio termodinámico del equilibrio	122	6.1 Definiciones	174
4.5 La dependencia de la estabilidad de las condiciones	122	6.2 Regla de las fases	176
4.6 La ubicación de los límites de las fases	126		
4.7 La clasificación de Ehrenfest de las transiciones de fases	129	Sistemas de dos componentes	179
Listado de conceptos clave	131	6.3 Diagramas de presión de vapor	179
Lecturas recomendadas	132	6.4 Diagramas de temperatura-composición	182
Preguntas para el análisis	132	6.5 Diagramas de fases líquido-líquido	185
Ejercicios	132	6.6 Diagramas de fase líquido-sólido	189
Problemas	133	16.1 Impacto en la ciencia de los materiales: cristales líquidos	191
		16.2 Impacto en la ciencia de los materiales: ultrapureza e impureza controlada	192
5 Mezclas simples	136	Listado de conceptos clave	193
		Lecturas recomendadas	194
		Preguntas para el análisis	194
Descripcion termodinámica de las mezclas	136	Ejercicios	195
5.1 Magnitudes molares parciales	136	Problemas	197
5.2 Termodinámica de mezclas	141		
5.3 Potencial químico de los líquidos	143	7 Equilibrio químico	200
15.1 Impacto en la biología: solubilidad de los gases y respiración	147		
		Reacciones químicas espontáneas	200
Propiedades de las soluciones	148	7.1 Energía de Gibbs mínima	200
5.4 Mezclas de líquidos	148	7.2 Descripción del equilibrio	202
5.5 Propiedades coligativas	150		
15.2 Impacto en la biología: ósmosis en fisiología y bioquímica	156	Respuesta del equilibrio a las distintas condiciones	210

7.3 Cómo responde el equilibrio a las variaciones de presión 210

7.4 Respuesta del equilibrio a las variaciones de temperatura 211

17.1 Impacto en la ingeniería: obtención de metales a partir de sus óxidos 215

Electroquímica del equilibrio 216

7.5 Semireacciones y electrodos 216

7.6 Variedades de pilas 217

7.7 Fuerza electromotriz 218

7.8 Potenciales estándar 222

7.9 Aplicaciones de los potenciales estándar 224

17.2 Impacto en la bioquímica: conversión de la energía en células biológicas 225

Listado de conceptos clave 233

Lecturas recomendadas 234

Preguntas para el análisis 234

Ejercicios 235

Problemas 236

PARTE 2 Estructura 241

8 Teoría cuántica: introducción y principios 243

Los orígenes de la mecánica cuántica 243

8.1 Los fracasos de la física clásica 244

8.2 Dualidad onda-partícula 249

18.1 Impacto en la biología: microscopía electrónica 253

Dinámica de los sistemas microscópicos 254

8.3 La ecuación de Schrödinger 254

8.4 La interpretación de Born de la función de onda 256

Principios de la mecánica cuántica 260

8.5 La información en la función de onda 260

8.6 El principio de incertidumbre 269

8.7 Los postulados de la mecánica cuántica 272

Listado de conceptos clave 273

Lecturas recomendadas 273

Preguntas para el análisis 274

Ejercicios 274

Problemas 275

9 Teoría cuántica: técnicas y aplicaciones 277

Movimiento de traslación 277

9.1 Partícula en una caja 278

9.2 Movimiento en dos y más direcciones 283

9.3 Efecto túnel 286

19.1 Impacto en la nanociencia: microscopio de sonda de barrido 288

Movimiento de vibración 290

9.4 Niveles de energía 291

9.5 Funciones de onda 292

Movimiento de rotación 297

9.6 Rotación en dos dimensiones: una partícula en un anillo 297

9.7 Rotación en tres dimensiones: una partícula en una esfera 301

19.2 Impacto en la nanociencia: puntos cuánticos 306

9.8 Espín 308

Técnicas de aproximación 310

9.9 Teoría de perturbaciones independientes del tiempo 310

9.10 Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo 311

Listado de conceptos clave 312

Lecturas recomendadas 313

Información adicional 9.1: Notación de Dirac 313

Información adicional 9.2: Teoría de perturbaciones 313

Preguntas para el análisis 316

Ejercicios 316

Problemas 317

10 Estructura atómica y espectro atómico 320

Estructura y espectro de los átomos hidrogenoides 320

10.1 Estructura de átomos hidrogenoides 321

10.2 Orbitales atómicos y sus energías	326	12 Simetría molecular	404
10.3 Transiciones espectroscópicas y reglas de selección	335		
Estructuras de átomos multielectrónicos	336	Elementos de simetría de los objetos	404
10.4 Aproximación orbital	336	12.1 Operaciones y elementos de simetría	405
10.5 Orbitales de campos autoconsistentes	344	12.2 Clasificación de las moléculas según su simetría	406
Espectros de átomos complejos	345	12.3 Algunas consecuencias inmediatas de la simetría	411
110.1 Impacto en la astrofísica: espectroscopia de las estrellas	346	Aplicaciones a la teoría de orbitales moleculares y a la espectroscopia	413
10.6 Defectos cuánticos y límites de ionización	346	12.4 Tabla de caracteres y nomenclatura de simetría	413
10.7 Estados singulete y triplete	347	12.5 Integrales nulas y solapamiento de orbitales	419
10.8 Acoplamiento espín-orbita	348	12.6 Integrales nulas y reglas de selección	423
10.9 Términos espectrales y reglas de selección	352	Listado de conceptos clave	425
Listado de conceptos clave	356	Lecturas recomendadas	426
Lecturas recomendadas	357	Preguntas para el análisis	426
Información adicional 10.1: Separación del movimiento	357	Ejercicios	426
Preguntas para el análisis	358	Problemas	427
Ejercicios	358	13 Espectroscopia molecular 1: espectros rotacional y vibracional	404
Problemas	359		
11 Estructura molecular	362	Características generales de la espectroscopia	431
Aproximación de Born-Oppenheimer	362	13.1 Técnicas experimentales	431
Teoría del enlace de valencia	363	13.2 Intensidad de las líneas espectrales	432
11.1 Moléculas diatómicas homonucleares	363	13.3 Ancho de línea	436
11.2 Moléculas poliatómicas	365	113.1 Impacto en la astrofísica: espectroscopia rotacional y vibracional del espacio interestelar	438
Teoría de los orbitales moleculares	368	Espectros rotacionales puros	
11.3 Ión molecular de hidrógeno	368	13.4 Momentos de inercia	441
11.4 Moléculas diatómicas homonucleares	373	13.5 Niveles de energía rotacional	443
11.5 Moléculas diatómicas heteronucleares	379	13.6 Transiciones rotacionales	446
111.1 Impacto en la bioquímica: reactividad bioquímica del O ₂ , N ₂ , y NO	385	13.7 Espectro rotacional Raman	449
Orbitales moleculares para sistemas poliatómicos	368	13.8 Estadística nuclear y estados rotacionales	450
11.6 Aproximación de Hückel	387	Vibraciones de moléculas diatómicas	452
11.7 Química computacional	392	13.9 Vibraciones moleculares	452
11.8 Predicción de las propiedades moleculares	396	13.10 Reglas de selección	454
Listado de conceptos clave	398	13.11 Anarmonicidad	455
Lecturas recomendadas	399	13.12 Espectro vibracional-rotacional	457
Preguntas para el análisis	399	13.13 Espectro vibracional Raman de moléculas diatómicas	459
Ejercicios	399		
Problemas	400		

Vibraciones de moléculas poliatómicas	460	Preguntas para el análisis	508
13.14 Modos normales	460	Ejercicios	509
13.15 Espectros de absorción infrarroja de moléculas poliatómicas	461	Problemas	510
I13.2 Impacto en las ciencias medioambientales: calentamiento global	462		
13.16 Espectro vibracional Raman de moléculas poliatómicas	464		
I13.3 Impacto en la bioquímica: microscopia vibracional	466		
13.17 Aspectos de simetría de vibraciones moleculares	466		
Listado de conceptos clave	469		
Lecturas recomendadas	470		
Información adicional 13.1: Espectrómetros	470		
Información adicional 13.2: Reglas de selección para espectroscopia rotacional y vibracional	473		
Preguntas para el análisis	476		
Ejercicios	476		
Problemas	478		
14 Espectroscopia molecular 2: transiciones electrónicas	481		
Las características de las transiciones electrónicas	481		
14.1 El espectro electrónico de moléculas diatómicas	482		
14.2 El espectro electrónico de moléculas poliatómicas	487		
I14.1 Impacto en la bioquímica: la visión	490		
Los destinos de los estados electrónicamente excitados	492		
14.3 Fluorescencia y fosforescencia	492		
I14.2 Impacto en la bioquímica: microscopia de fluorescencia	494		
14.4 Disociación y predisociación	495		
Láseres	496		
14.5 Principios generales de la acción del láser	496		
14.6 Aplicación de los láseres en la química	500		
Listado de conceptos clave	505		
Lecturas recomendadas	506		
Información adicional 14.1: Ejemplos de láseres que se utilizan en la práctica	506		
		Preguntas para el análisis	508
		Ejercicios	509
		Problemas	510
		15 Espectroscopia molecular 3: resonancia magnética	513
		Efecto del campo magnético sobre los electrones y el núcleo	513
		15.1 Energías de los electrones en los campos magnéticos	513
		15.2 Energías de los núcleos en los campos magnéticos	515
		15.3 Espectroscopia de resonancia magnética	516
		Resonancia magnética nuclear	517
		15.4 Espectrofotómetro de RMN	517
		15.5 Desplazamiento químico	518
		15.6 Estructura fina	524
		15-7 Conversión conformacional y procesos de intercambio	532
		Técnicas de pulso en RMN	533
		15.8 Vector de magnetización	533
		15.9 Relajación de espín	536
		I15.1 Impacto en la medicina: imágenes por resonancia magnética	540
		15.10 Desacoplamiento de espín	541
		15.11 Efecto nuclear Overhauser	542
		15.12 RMN bidimensional	544
		15.13 RMN de estado sólido	548
		Resonancia paramagnética de electrónica	549
		15.14 Espectrómetro de EPR	549
		15.15 Valor g	550
		15.16 Estructura hiperfina	551
		I15.2 Impacto en la bioquímica: sondas de espín	553
		Listado de conceptos clave	554
		Lecturas recomendadas	555
		Información adicional 15.1: Transformada de Fourier de la curva de FID	555
		Preguntas para el análisis	556
		Ejercicios	556
		Problemas	557

16 Termodinámica estadística 1: los conceptos	560	18 Interacciones moleculares	620
La distribución de los estados moleculares	561	Propiedades eléctricas de las moléculas	620
16.1 Configuraciones y pesos	561	18.1 Momentos dipolares eléctricos	620
16.2 La función de partición molecular	564	18.2 Polarizabilidad	624
116.1 Impacto en la bioquímica: La transición hélice-ovillo en los polipéptidos	571	18.3 Permittividades relativas	627
La energía interna y la entropía	573	Interacciones entre moléculas	629
16.3 La energía interna	573	18.4 Interacciones entre dipolos	629
16.4 La entropía estadística	575	18.5 Interacciones repulsivas y totales	637
La función de partición canónica	577	118.1 Impacto en la medicina: reconocimiento molecular y diseño de drogas	638
16.5 El conjunto canónico	577	Gases y líquidos	640
16.6 Información termodinámica en la función de partición	578	18.6 Interacciones moleculares en gases	640
16.7 Moléculas independientes	579	18.7 Interfase líquido-vapor	641
Listado de conceptos clave	581	18.8 Condensación	645
Lecturas recomendadas	582	Listado de conceptos clave	646
Información adicional 16.1: La distribución de Boltzmann	582	Lecturas recomendadas	646
Información adicional 16.2: La fórmula de Boltzmann	583	Información adicional 18.1: Interacción dipolo-dipolo	646
Preguntas para el análisis	585	Información adicional 18.2: Principios básicos de los haces moleculares	647
Ejercicios	586	Preguntas para el análisis	648
Problemas	586	Ejercicios	648
		Problemas	649
17 Termodinámica estadística 2: aplicaciones	589	19 Materiales 1: macromoléculas y agregados	652
Relaciones fundamentales	589	Determinación del tamaño y la forma	652
17.1 Funciones termodinámicas	589	19.1 Masas molares medias	653
17.2 Funciones de partición molecular	591	19.2 Espectrometría de masa	655
Uso de termodinámica estadística	599	19.3 Dispersión de la luz láser	657
17.3 Energías medias	599	19.4 Ultracentrifugación	660
17.4 Capacidades caloríficas	601	19.5 Electroforesis	663
17.5 Ecuaciones de estado	604	119.1 Impacto en la bioquímica: electroforesis en gel en la genómica y la proteómica	664
17.6 Interacciones moleculares en líquidos	606	19.6 Viscosidad	665
17.7 Entropías residuales	609	Estructura y dinámica	667
17.8 Constantes de equilibrio	610	19.7 Los diferentes niveles de estructuras	667
Listado de conceptos clave	615	19.8 Enrollamientos aleatorios	668
Lecturas recomendadas	615	19.9 Estructura y estabilidad de los polímeros sintéticos	673
Preguntas para el análisis	617	119.2 Impacto en la tecnología: polímeros conductores	674
Ejercicios	617		
Problemas	618		

19.10 Estructura de proteínas 675
19.11 Estructura de ácidos nucleicos 679
19.12 Estabilidad de proteínas y ácidos nucleicos 681

Autoensamblaje 681

19.13 Coloides 682
19.14 Micelas y membranas biológicas 685
19.15 Películas superficiales 687
I19.3 Impacto en la nanociencia: nanofabricación con monocapas autoensambladas 690

Listado de conceptos clave 690
 Lecturas recomendadas 691
 Información adicional 19.1: El índice de Rayleigh 691
 Preguntas para el análisis 692
 Ejercicios 692
 Problemas 693

20 Materiales 2: el estado sólido 697

Redes cristalinas 697

20.1 Redes y celdas unidad 697
20.2 Identificación de planos reticulares 700
20.3 Investigación de la estructura 702
I20.1 Impacto en la bioquímica: cristalografía de rayos X de macromoléculas biológicas 711
20.4 Difracción de electrones y neutrones 713

Estructura cristalina 715

20.5 Sólidos metálicos 715
20.6 Sólidos iónicos 717
20.7 Sólidos moleculares y redes covalentes 720

Las propiedades de los sólidos 721

20.8 Propiedades mecánicas 721
20.9 Propiedades eléctricas 723
I20.2 Impacto en la nanociencia: nanocables 728
20.10 Propiedades ópticas 728
20.11 Propiedades magnéticas 733
20.12 Superconductores 736

Listado de conceptos clave 738
 Lecturas recomendadas 739
 Preguntas para el análisis 739
 Ejercicios 740
 Problemas 741

PARTE 3 El cambio 745

21 Moléculas en movimiento 747

Movimiento molecular en gases 747

21.1 El modelo cinético de los gases 748
I21.1 Impacto en la astrofísica: el sol como una bola de gas ideal 754
21.2 Colisiones con paredes y superficies 755
21.3 La velocidad de efusión 756
21.4 Propiedades de transporte de un gas ideal 757

Movimiento molecular en líquidos 761

21.5 Resultados experimentales 761
21.6 Conductividad de soluciones de electrolitos 761
21.7 Movilidad de los iones 764
21.8 Conductividades e interacciones ión–ión 769
I21.2 Impacto en la bioquímica: canales iónicos y bombas iónicas 770

Difusión 772

21.9 El enfoque termodinámico 772
21.10 La ecuación de difusión 776
I21.3 Impacto en la bioquímica: transporte de no electrolitos a través de membranas biológicas 779
21.11 Probabilidades de difusión 780
21.12 El enfoque estadístico 781

Listado de conceptos clave 783
 Lecturas recomendadas 783
 Información adicional 21.1: Características de transporte de un gas ideal 784
 Preguntas para el análisis 785
 Ejercicios 786
 Problemas 788

22 Velocidades de las reacciones químicas 791

Cinética química empírica 791

22.1 Técnicas experimentales 792
22.2 Velocidades de reacción 794
22.3 Leyes de velocidad integradas 798
22.4 Reacciones que se aproximan al equilibrio 804
22.5 Dependencia de las velocidades de reacción con la temperatura 807

Interpretación de las leyes de velocidad	809	Ejercicios	863
22.6 Reacciones elementales	809	Problemas	864
22.7 Reacciones elementales consecutivas	811		
I22.1 Impacto en la bioquímica: la cinética de la transición hélice-ovillo en polipéptidos	818		
22.8 Reacciones unimoleculares	820		
Listado de conceptos clave	823		
Lecturas recomendadas	823		
Información adicional 22.1: El modelo RRK de reacciones unimoleculares	824		
Preguntas para el análisis	825		
Ejercicios	825		
Problemas	826		
23 Cinética de las reacciones complejas	830		
Reacciones en cadena	830		
23.1 Las leyes de la velocidad de las reacciones en cadena	830		
23.2 Explosiones	833		
Cinética de la polimerización	835		
23.3 Polimerización por etapas	835		
23.4 Polimerización en cadena	836		
Catálisis homogénea	839		
23.5 Características de la catálisis homogénea	839		
23.6 Enzimas	840		
Fotoquímica	845		
23.7 Cinética de los procesos fotofísicos y fotoquímicos	845		
I23.1 Impacto en las ciencias medioambientales: la química del ozono estratosférico	853		
I23.2 Impacto en la bioquímica: absorción de luz durante la fotosíntesis en las plantas	856		
23.8 Procesos fotoquímicos complejos	858		
I23.3 Impacto en la medicina: terapia fotodinámica	860		
Listado de conceptos clave	861		
Lecturas recomendadas	862		
Información adicional 23.1: La teoría de Förster de transferencia de la energía de resonancia	862		
Preguntas para el análisis	863		
24 Dinámica de las reacciones moleculares	869		
Encuentros reactivos	869		
24.1 Teoría de las colisiones	870		
24.2 Reacciones controladas por difusión	876		
24.3 Ecuación de balance de materia	879		
Teoría del estado de transición	880		
24.4 Ecuación de Eyring	880		
24.5 Aspectos termodinámicos	883		
Dinámica de las colisiones moleculares	885		
24.6 Colisiones reactivas	886		
24.7 Superficies de energía potencial	887		
24.8 Algunos resultados de experimentos y cálculos	888		
24.9 Investigación de la dinámica de reacción con técnicas láser ultrarrápidas	892		
Transferencia de electrones en sistemas homogéneos	894		
24.10 Velocidad de los procesos de transferencia de electrones	894		
24.11 Teoría de los procesos de transferencia de electrones	896		
24.12 Resultados experimentales	898		
I24.1 Impacto en la bioquímica: transferencia de electrones en y entre proteínas	900		
Listado de conceptos clave	902		
Lecturas recomendadas	903		
Información adicional 24.1: Energía de Gibbs activación de transferencia de electrones y relación cruzada de Marcus	903		
Preguntas para el análisis	904		
Ejercicios	904		
Problemas	905		
25 Procesos en superficies sólidas	909		
El crecimiento y la estructura de las superficies sólidas	909		
25.1 Crecimiento de la superficie	910		

25.2	Composición de la superficie	911	A2.1	Logaritmos y exponenciales	963
	El grado de adsorción	916	A2.2	Números complejos y funciones complejas	963
25.3	Adsorción física y adsorción química	916	A2.3	Vectores	964
25.4	Isotermas de adsorción	917		Cálculos	965
25.5	Las velocidades de los procesos superficiales	922	A2.4	Diferenciación e integración	965
I25.1	Impacto en la bioquímica: análisis por biosensores	925	A2.5	Series de potencias y desarrollos de Taylor	967
	Catálisis heterogénea	926	A2.6	Derivadas parciales	968
25.6	Mecanismos de catálisis heterogénea	927	A2.7	Funcionales y derivadas de funcionales	969
25.7	Actividad catalítica en superficies	928	A2.8	Multiplicadores indeterminados	969
I25.2	Impacto en la tecnología: catálisis en la industria química	929	A2.9	Ecuaciones diferenciales	971
	Procesos en los electrodos	932		Estadística y probabilidad	973
25.8	La interfase electrodo-solución	932	A2.10	Selecciones aleatorias	973
25.9	La velocidad de transferencia de carga	934	A2.11	Algunos resultados de la teoría de probabilidades	974
25.10	Voltametría	940		Álgebra matricial	975
25.11	Electrólisis	944	A2.12	Suma y multiplicación de matrices	975
25.12	Celdas galvánicas de trabajo	945	A2.13	Ecuaciones simultáneas	976
I25.3	Impacto en la tecnología: celdas de combustible	947	A2.14	Ecuaciones de autovalores	977
25.13	Corrosión	948		Lecturas recomendadas	978
I25.4	Impacto en la tecnología: protección de materiales contra la corrosión	949		Apéndice 3 Conceptos esenciales de física	979
	Listado de conceptos clave	951		Energía	979
	Lecturas recomendadas	951	A3.1	Energía cinética y potencial	979
	Información adicional 25.1: Relación entre el potencial de electrodo y el potencial de Galvani	952	A3.2	Unidades de energía	979
	Preguntas para el análisis	952		Mecánica clásica	980
	Ejercicios	953	A3.3	La trayectoria en términos de energía	980
	Problemas	955	A3.4	La segunda ley de Newton	980
	Apéndice 1 Magnitudes y convenciones notacionales	959	A3.5	Movimiento rotacional	981
	Nombres de las magnitudes	959	A3.6	El oscilador armónico	982
	Unidades	960		Ondas	983
	Convenciones de notación	961	A3.7	El campo electromagnético	983
	Lecturas recomendadas	962	A3.8	Características de la radiación electromagnética	983
	Apéndice 2 Técnicas matemáticas	963	A3.9	Refracción	984
	Procedimientos básicos	963	A3.10	Actividad óptica	985
				Electrostática	985
			A3.11	Interacción de Coulomb	986
			A3.12	Potencial de Coulomb	986

XXVIII ÍNDICE

A3.13 Intensidad del campo eléctrico	986	Sección de datos	988
A3.14 Corriente eléctrica y potencia	987	Respuestas a los ejercicios	1028
		Respuestas a algunos problemas	1040
Lecturas recomendadas	987	Índice analítico	1051