

# Contenido

Prefacio xix

Resumen 39

Referencias y lecturas recomendadas 39

Problemas 40

## Capítulo 1

### INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BÁSICOS | 1

- 1-1 Termodinámica y energía 2  
Áreas de aplicación de la termodinámica 3
- 1-2 Importancia de las dimensiones y unidades 3  
Algunas unidades SI e inglesas 6  
Homogeneidad dimensional 8  
Relaciones de conversión de unidades 9
- 1-3 Sistemas y volúmenes de control 10
- 1-4 Propiedades de un sistema 12  
Continuo 12
- 1-5 Densidad y densidad relativa 13
- 1-6 Estado y equilibrio 14  
Postulado de estado 14
- 1-7 Procesos y ciclos 15  
Proceso de flujo estable 16
- 1-8 Temperatura y ley cero de la termodinámica 17  
Escala de temperatura 17  
Escala de temperatura internacional de 1990 (ITS-90) 20
- 1-9 Presión 21  
Variación de la presión con la profundidad 23
- 1-10 Manómetro 26  
Otros dispositivos de medición de presión 29
- 1-11 Barómetro y presión atmosférica 29
- 1-12 Técnica para resolver problemas 33  
Paso 1: enunciado del problema 33  
Paso 2: esquema 33  
Paso 3: suposiciones y aproximaciones 34  
Paso 4: leyes físicas 34  
Paso 5: propiedades 34  
Paso 6: cálculos 34  
Paso 7: razonamiento, comprobación y análisis 34  
Paquetes de software de Ingeniería 35  
Programa para resolver ecuaciones de Ingeniería (*Engineering Equation Solver*, EES) 36  
Observación acerca de los dígitos significativos 38

## Capítulo 2

### ENERGÍA, TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y ANÁLISIS GENERAL DE ENERGÍA | 51

- 2-1 Introducción 52
  - 2-2 Formas de energía 53  
Algunas consideraciones físicas en relación con la energía interna 55  
Más sobre energía nuclear 56  
Energía mecánica 58
  - 2-3 Transferencia de energía por calor 60  
Antecedentes históricos sobre el calor 61
  - 2-4 Transferencia de energía por trabajo 62  
Trabajo eléctrico 65
  - 2-5 Formas mecánicas del trabajo 66  
Trabajo de flecha 66  
Trabajo de resorte 67  
Trabajo hecho sobre barras sólidas elásticas 67  
Trabajo relacionado con el estiramiento de una película líquida 68  
Trabajo hecho para elevar o acelerar un cuerpo 68  
Formas no mecánicas del trabajo 69
  - 2-6 La primera ley de la termodinámica 70  
Balance de energía 71  
Cambio de energía de un sistema,  $\Delta E_{\text{sistema}}$  72  
Mecanismos de transferencia de energía,  $E_{\text{entrada}}$  y  $E_{\text{salida}}$  73
  - 2-7 Eficiencia en la conversión de energía 78  
Eficiencia de dispositivos mecánicos y eléctricos 82
  - 2-8 Energía y ambiente 86  
Ozono y smog 87  
Lluvia ácida 88  
Efecto invernadero: calentamiento global y cambio climático 89
- Tema de interés especial.**  
**Mecanismos de transferencias de calor 92**  
Resumen 96  
Referencias y lecturas recomendadas 97  
Problemas 98

## Capítulo 3

### PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS PURAS | 111

- 3-1 Sustancia pura 112
- 3-2 Fases de una sustancia pura 112
- 3-3 Procesos de cambio de fase en sustancias puras 113
  - Líquido comprimido y líquido saturado 114
  - Vapor saturado y vapor sobrecalentado 114
  - Temperatura de saturación y presión de saturación 115
  - Algunas consecuencias de la dependencia de  $T_{\text{sat}}$  y  $P_{\text{sat}}$  117
- 3-4 Diagramas de propiedades para procesos de cambio de fase 118
  - 1 Diagrama  $T$ - $v$  118
  - 2 Diagrama  $P$ - $v$  120
  - Ampliación de los diagramas para incluir la fase sólida 121
  - 3 Diagrama  $P$ - $T$  124
  - Superficie  $P$ - $v$ - $T$  125
- 3-5 Tablas de propiedades 126
  - Entalpía: una propiedad de combinación 126
  - 1a Estados de líquido saturado y de vapor saturado 127
  - 1b Mezcla saturada de líquido-vapor 129
  - 2 Vapor sobrecalentado 132
  - 3 Líquido comprimido 133
  - Estado de referencia y valores de referencia 135
- 3-6 Ecuación de estado de gas ideal 137
  - ¿El vapor de agua es un gas ideal? 139
- 3-7 Factor de compresibilidad, una medida de la desviación del comportamiento de gas ideal 139
- 3-8 Otras ecuaciones de estado 144
  - Ecuación de estado de Van der Waals 144
  - Ecuación de estado de Beattie-Bridgeman 145
  - Ecuación de estado de Benedict-Webb-Rubin 145
  - Ecuación de estado virial 145
  - Tema de interés especial. Presión de vapor y equilibrio de fases 149**
    - Resumen 153
    - Referencias y lecturas recomendadas 154
    - Problemas 154

- 4-3 Calores específicos 178
- 4-4 Energía interna, entalpía y calores específicos de gases ideales 180
  - Relaciones de calores específicos de gases ideales 182
- 4-5 Energía interna, entalpía y calores específicos de sólidos y líquidos 189
  - Cambios de energía interna 189
  - Cambios de entalpía 189
  - Tema de interés especial. Aspectos termodinámicos de los sistemas biológicos 193**
    - Resumen 200
    - Referencias y lecturas recomendadas 201
    - Problemas 201

## Capítulo 5

### ANÁLISIS DE MASA Y ENERGÍA DE VOLÚMENES DE CONTROL | 219

- 5-1 Conservación de la masa 220
  - Flujos másico y volumétrico 220
  - Principio de conservación de la masa 222
  - Balance de masa para procesos de flujo estable 223
  - Caso especial: flujo incompresible 224
- 5-2 Trabajo de flujo y energía de un fluido en movimiento 226
  - Energía total de un fluido en movimiento 227
  - Energía transportada por la masa 228
- 5-3 Análisis de energía de sistemas de flujo estable 230
- 5-4 Algunos dispositivos de Ingeniería de flujo estable 233
  - 1 Toberas y difusores 233
  - 2 Turbinas y compresores 236
  - 3 Válvulas de estrangulamiento 239
  - 4a Cámaras de mezclado 240
  - 4b Intercambiadores de calor 242
  - 5 Flujo en tuberías y ductos 244
- 5-5 Análisis de procesos de flujo inestable 246
  - Tema de interés especial. Ecuación general de energía 252**
    - Resumen 255
    - Referencias y lecturas recomendadas 256
    - Problemas 256

## Capítulo 4

### ANÁLISIS DE ENERGÍA DE SISTEMAS CERRADOS | 165

- 4-1 Trabajo de frontera móvil 166
  - Proceso politrópico 171
- 4-2 Balance de energía para sistemas cerrados 173

## Capítulo 6

### LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA | 279

- 6-1 Introducción a la segunda ley 280
- 6-2 Depósitos de energía térmica 281

6-3	Máquinas térmicas 282	Calores específicos constantes (análisis aproximado) 358
	Eficiencia térmica 283	Calores específicos variables (análisis exacto) 359
	¿Es posible ahorrar $Q_{\text{salida}}$ ? 285	Presión relativa y volumen específico relativo 359
	La segunda ley de la termodinámica: enunciado de Kelvin-Planck 287	7-10 Trabajo reversible en flujo estable 362
6-4	Refrigeradores y bombas de calor 287	Demostración de que los dispositivos de flujo estable entregan el máximo trabajo y consumen el mínimo cuando el proceso es reversible 365
	Coeficiente de desempeño 288	7-11 Minimización del trabajo del compresor 366
	Bombas de calor 289	Compresión por etapas múltiples con interenfriamiento 367
	La segunda ley de la termodinámica: enunciado de Clausius 292	7-12 Eficiencias isentrópicas de dispositivos de flujo estable 370
	Equivalencia de los dos enunciados 292	Eficiencia isentrópica de turbinas 371
6-5	Máquinas de movimiento perpetuo 293	Eficiencias isentrópicas de compresores y bombas 373
6-6	Procesos reversibles e irreversibles 296	Eficiencia isentrópica de toberas 375
	Irreversibilidades 297	7-13 Balance de entropía 377
	Procesos internamente y externamente reversibles 298	Cambio de entropía de un sistema, $\Delta S_{\text{sistema}}$ 378
6-7	El ciclo de Carnot 299	Mecanismos de transferencia de entropía, $S_{\text{entrada}}$ y $S_{\text{salida}}$ 378
	Ciclo de Carnot inverso 301	1 Transferencia de calor 378
6-8	Principios de Carnot 301	2 Flujo másico 379
6-9	Escala termodinámica de temperatura 303	Generación de entropía, $S_{\text{gen}}$ 380
6-10	La máquina térmica de Carnot 305	Sistemas cerrados 381
	Calidad de la energía 307	Volúmenes de control 381
	Cantidad contra calidad en la vida diaria 308	Generación de entropía asociada con un proceso de transferencia de calor 389
6-11	El refrigerador de Carnot y la bomba de calor 309	<b>Tema de interés especial. Reducción del costo del aire comprimido 391</b>
	<b>Tema de interés especial. Refrigeradores     domésticos 311</b>	Resumen 400
	Resumen 315	Referencias y lecturas recomendadas 401
	Referencias y lecturas recomendadas 316	Problemas 402
	Problemas 316	

## Capítulo 7

### ENTROPÍA | 331

7-1	Entropía 332
	Caso especial: procesos isotérmicos de transferencia de calor internamente reversibles 334
7-2	El principio del incremento de entropía 335
	Algunos comentarios sobre la entropía 337
7-3	Cambio de entropía de sustancias puras 339
7-4	Procesos isentrópicos 343
7-5	Diagramas de propiedades que involucran a la entropía 344
7-6	¿Qué es la entropía? 346
	La entropía y la generación de entropía en la vida diaria 348
7-7	Las relaciones $T ds$ 350
7-8	Cambio de entropía de líquidos y sólidos 351
7-9	Cambio de entropía de gases ideales 354
	Calores específicos constantes (análisis aproximado) 355
	Calores específicos variables (análisis exacto) 356
	Proceso isentrópico de gases ideales 358

## Capítulo 8

### EXERGÍA: UNA MEDIDA DEL TRABAJO POTENCIAL | 423

8-1	Exergía: potencial de trabajo de la energía 424
	Exergía (potencial de trabajo) asociado con la energía cinética y potencial 425
8-2	Trabajo reversible e irreversibilidad 427
8-3	Eficiencia de la segunda ley, $\eta_{II}$ 432
8-4	Cambio de exergía de un sistema 434
	Exergía de una masa fija: exergía sin flujo (o de sistema cerrado) 435
	Exergía de una corriente de fluido: exergía de flujo (o corriente) 437
8-5	Transferencia de exergía por calor, trabajo y masa 440
	Transferencia de exergía por calor, $Q$ 440
	Transferencia de exergía por trabajo, $W$ 442
	Transferencia de exergía por masa, $m$ 442
8-6	Principio de disminución de exergía y destrucción de exergía 443
	Destrucción de exergía 444

- 8-7 Balance de exergía: sistemas cerrados 444
- 8-8 Balance de exergía: volúmenes de control 457
  - Balance de exergía para sistemas de flujo estable 458
  - Trabajo reversible,  $W_{rev}$  459
  - Eficiencia de la segunda ley para dispositivos de flujo estable,  $\eta_{II}$  459
- Tema de interés especial. Aspectos cotidianos de la segunda ley 465**
  - Resumen 469
  - Referencias y lecturas recomendadas 470
  - Problemas 470

## Capítulo 9

### CICLOS DE POTENCIA DE GAS | 487

- 9-1 Consideraciones básicas para el análisis de los ciclos de potencia 488
- 9-2 El ciclo de Carnot y su valor en ingeniería 490
- 9-3 Suposiciones de aire estándar 492
- 9-4 Breve panorama de las máquinas reciprocantes 493
- 9-5 Ciclo de Otto: el ciclo ideal para las máquinas de encendido por chispa 494
- 9-6 Ciclo diesel: el ciclo ideal para las máquinas de encendido por compresión 500
- 9-7 Ciclos Stirling y Ericsson 503
- 9-8 Ciclo Brayton: el ciclo ideal para los motores de turbina de gas 507
  - Desarrollo de las turbinas de gas 510
  - Desviación de los ciclos reales de turbina de gas en comparación con los idealizados 513
- 9-9 Ciclo Brayton con regeneración 515
- 9-10 Ciclo Brayton con interenfriamiento, recalentamiento y regeneración 517
- 9-11 Ciclos ideales de propulsión por reacción 521
  - Modificaciones para motores de turborreactor 525
- 9-12 Análisis de la segunda ley de ciclos de potencia de gas 527
  - Tema de interés especial. Ahorro de combustible y dinero al manejar con sensatez 530**
  - Resumen 537
  - Referencias y lecturas recomendadas 538
  - Problemas 539

## Capítulo 10

### CICLOS DE POTENCIA DE VAPOR Y COMBINADOS | 551

- 10-1 El ciclo de vapor de Carnot 552
- 10-2 Ciclo Rankine: el ciclo ideal para los ciclos de potencia de vapor 553
  - Análisis de energía del ciclo Rankine ideal 554
- 10-3 Desviación de los ciclos de potencia de vapor reales respecto de los idealizados 557
- 10-4 ¿Cómo incrementar la eficiencia del ciclo Rankine? 560
  - Reducción de la presión del condensador (*reducción  $T_{baja,prom}$* ) 560
  - Sobrecalentamiento del vapor a altas temperaturas (*incremento  $T_{alta,prom}$* ) 561
  - Incremento de la presión de la caldera (*incremento  $T_{alta,prom}$* ) 561
- 10-5 El ciclo Rankine ideal con recalentamiento 564
- 10-6 El ciclo Rankine ideal regenerativo 568
  - Calentadores abiertos de agua de alimentación 568
  - Calentadores cerrados de agua de alimentación 570
- 10-7 Análisis de la segunda ley en ciclos de potencia de vapor 576
- 10-8 Cogeneración 578
- 10-9 Ciclos de potencia combinados de gas y vapor 583
  - Tema de interés especial. Ciclos binarios de vapor 586**
  - Resumen 589
  - Referencias y lecturas recomendadas 589
  - Problemas 590

## Capítulo 11

### CICLOS DE REFRIGERACIÓN | 607

- 11-1 Refrigeradores y bombas de calor 608
- 11-2 El ciclo invertido de Carnot 609
- 11-3 El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor 610
- 11-4 Ciclo real de refrigeración por compresión de vapor 614
- 11-5 Selección del refrigerante adecuado 616
- 11-6 Sistemas de bombas de calor 618
- 11-7 Sistemas innovadores de refrigeración por compresión de vapor 620
  - Sistemas de refrigeración en cascada 620
  - Sistemas de refrigeración por compresión de múltiples etapas 623

- Sistemas de refrigeración de propósito múltiple con un solo compresor 625
- Licuefacción de gases 626
- 11-8 Ciclos de refrigeración de gas 628
- 11-9 Sistemas de refrigeración por absorción 631
- Tema de interés especial. Generación de potencia termodinámica y sistemas de refrigeración 634**
- Resumen 636
- Referencias y lecturas recomendadas 637
- Problemas 637

## Capítulo 12

### RELACIONES DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS | 651

- 12-1 Un poco de matemáticas: derivadas parciales y relaciones asociadas 652
  - Diferenciales parciales 653
  - Relaciones de derivadas parciales 655
- 12-2 Relaciones de Maxwell 656
- 12-3 La ecuación de Clapeyron 658
- 12-4 Relaciones generales para  $du$ ,  $dh$ ,  $ds$ ,  $c_v$  y  $c_p$  661
  - Cambios en la energía interna 661
  - Cambios de entalpía 662
  - Cambios de entropía 663
  - Calores específicos  $c_v$  y  $c_p$  664
- 12-5 El coeficiente Joule-Thomson 668
- 12-6 Las  $\Delta h$ ,  $\Delta u$  y  $\Delta s$  de gases reales 669
  - Cambios en la entalpía de gases reales 670
  - Cambios de energía interna de gases ideales 671
  - Cambios de entropía de gases reales 671
- Resumen 674
- Referencias y lecturas recomendadas 675
- Problemas 675

## Capítulo 13

### MEZCLAS DE GASES | 681

- 13-1 Composición de una mezcla de gases: fracciones molares y de masa 682
- 13-2 Comportamiento  $P$ - $v$ - $T$  de mezclas de gases: gases ideales y reales 684
  - Mezclas de gases ideales 685
  - Mezclas de gases reales 685
- 13-3 Propiedades de mezclas de gases: gases ideales y reales 689
  - Mezclas de gases ideales 690
  - Mezclas de gases reales 693

### Tema de interés especial. Potencial químico y el trabajo de separación de mezclas 697

- Resumen 708
- Referencias y lecturas recomendadas 709
- Problemas 709

## Capítulo 14

### MEZCLAS DE GAS-VAPOR Y ACONDICIONAMIENTO DE AIRE | 717

- 14-1 Aire seco y aire atmosférico 718
- 14-2 Humedad específica y relativa del aire 719
- 14-3 Temperatura de punto de rocío 721
- 14-4 Temperaturas de saturación adiabática y de bulbo húmedo 723
- 14-5 La carta psicrométrica 726
- 14-6 Comodidad humana y acondicionamiento de aire 727
- 14-7 Procesos de acondicionamiento de aire 729
  - Calentamiento y enfriamiento simple ( $\omega = \text{constante}$ ) 730
  - Calentamiento con humidificación 731
  - Enfriamiento con deshumidificación 732
  - Enfriamiento evaporativo 734
  - Mezcla adiabática de corrientes de aire 735
  - Torres de enfriamiento húmedas 737
- Resumen 739
- Referencias y lecturas recomendadas 741
- Problemas 741

## Capítulo 15

### REACCIONES QUÍMICAS | 751

- 15-1 Combustibles y combustión 752
- 15-2 Procesos de combustión teórica y real 756
- 15-3 Entalpía de formación y entalpía de combustión 762
- 15-4 Análisis de la primera ley de sistemas reactivos 765
  - Sistemas de flujo estable 765
  - Sistemas cerrados 767
- 15-5 Temperatura de flama adiabática 770
- 15-6 Cambio de entropía de sistemas reactivos 773
- 15-7 Análisis de segunda ley de sistemas reactivos 775
- Temas de interés especial. Celdas de combustible 780**
- Resumen 782
- Referencias y lecturas recomendadas 783
- Problemas 783

## Capítulo 16

**EQUILIBRIO QUÍMICO Y DE FASE | 793**

- 16-1 Criterio para el equilibrio químico 794
- 16-2 La constante de equilibrio para mezclas de gases ideales 796
- 16-3 Algunas observaciones respecto a la  $K_p$  de las mezclas de gases ideales 799
- 16-4 Equilibrio químico para reacciones simultáneas 804
- 16-5 Variación de  $K_p$  con la temperatura 806
- 16-6 Equilibrio de fase 808  
Equilibrio de fase para un sistema de un solo componente 808  
La regla de la fase 809  
Equilibrio de fase para un sistema multicomponente 810  
Resumen 815  
Referencias y lecturas recomendadas 816  
Problemas 817

## Capítulo 17

**FLUJO COMPRESIBLE | 823**

- 17-1 Propiedades de estancamiento 824
- 17-2 Velocidad del sonido y número de Mach 827
- 17-3 Flujo isentrópico en una dimensión 829  
Variación de la velocidad del fluido con el área de flujo 832  
Relaciones de propiedades para el flujo isentrópico de gases ideales 834
- 17-4 Flujo isentrópico a través de toberas 836  
Toberas convergentes 836  
Toberas convergentes-divergentes 841
- 17-5 Ondas de choque y ondas de expansión 845  
Choques normales 845  
Choques oblicuos 852  
Ondas expansivas de Prandtl-Meyer 856
- 17-6 Flujo en un ducto con transferencia de calor y con fricción insignificante (flujo de Rayleigh) 860  
Relaciones de propiedades para flujos de Rayleigh 866  
Flujo de Rayleigh estrangulado 867
- 17-7 Toberas de vapor 869  
Resumen 872  
Referencias y lecturas recomendadas 873  
Problemas 874

## Apéndice 1

**TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES SI) | 883**

- Tabla A-1** Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico 884
- Tabla A-2** Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes 885
- Tabla A-3** Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes 888
- Tabla A-4** Agua saturada. Tabla de temperaturas 890
- Tabla A-5** Agua saturada. Tabla de presiones 892
- Tabla A-6** Vapor de agua sobrecalentado 894
- Tabla A-7** Agua líquida comprimida 898
- Tabla A-8** Hielo saturado. Vapor de agua 899
- Figura A-9** Diagrama  $T$ - $s$  para el agua 900
- Figura A-10** Diagrama de Mollier para el agua 901
- Tabla A-11** Refrigerante 134a saturado. Tabla de temperatura 902
- Tabla A-12** Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión 904
- Tabla A-13** Refrigerante 134a sobrecalentado 905
- Figura A-14** Diagrama  $P$ - $h$  para refrigerante 134a 907
- Figura A-15** Gráfica generalizada de compresibilidad de Nelson-Obert 908
- Tabla A-16** Propiedades de la atmósfera a gran altitud 909
- Tabla A-17** Propiedades de gas ideal del aire 910
- Tabla A-18** Propiedades de gas ideal del nitrógeno,  $N_2$  912
- Tabla A-19** Propiedades de gas del oxígeno,  $O_2$  914
- Tabla A-20** Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono,  $CO_2$  916
- Tabla A-21** Propiedades de gas ideal del monóxido de carbono,  $CO$  918
- Tabla A-22** Propiedades de gas ideal del hidrógeno,  $H_2$  920
- Tabla A-23** Propiedades de gas ideal del vapor de agua,  $H_2O$  921
- Tabla A-24** Propiedades de gas ideal del oxígeno monoatómico,  $O$  923
- Tabla A-25** Propiedades de gas ideal del hidroxilo,  $OH$  923

**Tabla A-26** Entalpía de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 25°C, 1 atm 924

**Tabla A-27** Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes 925

**Tabla A-28** Logaritmos naturales de la constante de equilibrio  $K_p$  926

**Figura A-29** Gráfica generalizada de desviación de entalpía 927

**Figura A-30** Gráfica generalizada de desviación de entropía 928

**Figura A-31** Gráfica psicrométrica a 1 atm de presión total 929

**Tabla A-32** Funciones unidimensionales isentrópicas de flujo compresible para un gas ideal con  $k = 1.4$  930

**Tabla A-33** Funciones unidimensionales de choque normal de un gas ideal con  $k = 1.4$  931

**Tabla A-34** Funciones del flujo de Rayleigh para un gas ideal con  $k = 1.4$  932

## Apéndice 2

### TABLAS DE PROPIEDADES, FIGURAS Y DIAGRAMAS (UNIDADES INGLÉSAS) | 933

**Tabla A-1E** Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico 934

**Tabla A-2E** Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes 935

**Tabla A-3E** Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes 938

**Tabla A-4E** Agua saturada. Tabla de temperaturas 940

**Tabla A-5E** Agua saturada. Tabla de presiones 942

**Tabla A-6E** Vapor de agua sobrecalentado 944

**Tabla A-7E** Agua líquida comprimida 948

**Tabla A-8E** Hielo saturado. Vapor de agua 949

**Figura A-9E** Diagrama  $T-s$  para el agua 950

**Figura A-10E** Diagrama de Mollier para el agua 951

**Tabla A-11E** Refrigerante 134a saturado. Tabla de temperatura 952

**Tabla A-12E** Refrigerante 134a saturado. Tabla de presión 953

**Tabla A-13E** Refrigerante 134a sobrecalentado 954

**Figura A-14E** Diagrama  $P-h$  para refrigerante 134a 956

**Tabla A-16E** Propiedades de la atmósfera a gran altitud 957

**Tabla A-17E** Propiedades de gas ideal del aire 958

**Tabla A-18E** Propiedades de gas ideal del nitrógeno,  $N_2$  960

**Tabla A-19E** Propiedades de gas ideal del oxígeno,  $O_2$  962

**Tabla A-20E** Propiedades de gas ideal del dióxido de carbono,  $CO_2$  964

**Tabla A-21E** Propiedades de gas ideal del monóxido de carbono,  $CO$  966

**Tabla A-22E** Propiedades de gas ideal del hidrógeno,  $H_2$  968

**Tabla A-23E** Propiedades de gas ideal del vapor de agua,  $H_2O$  969

**Tabla A-26E** Entalpía de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 77°C, 1 atm 971

**Tabla A-27E** Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes 972

**Figura A-31E** Gráfica psicrométrica a 1 atm de presión total 973