



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	Introducción 1	
1.1	Introducción	1
1.2	Conceptos básicos y modelado termodinámico	5
1.3	Leyes fundamentales de la termodinámica	18
1.4	Sistemas y procesos termodinámicos típicos	23
1.5	Relación entre la termodinámica y las necesidades de energía	32
1.6	Procedimiento sistemático para la resolución de problemas de termodinámica	37
1.7	Resumen	39
	Referencias	40
	Preguntas	41
	Problemas	42
CAPÍTULO 2	Cantidades y unidades termodinámicas	48
2.1	Introducción	48
2.2	Propiedades termodinámicas	49
2.3	Interacciones de trabajo y calor	54
2.4	Dimensiones y unidades	61
2.5	Resumen	76
	Referencias	76
	Preguntas	77
	Problemas	78
CAPÍTULO 3	Propiedades de una sustancia pura	85
3.1	Introducción	85
3.2	Especificación del estado termodinámico de los sistemas	86

3.3	<i>Las sustancias puras y la regla de dos propiedades</i>	89
3.4	<i>Relaciones pVT para las sustancias puras</i>	93
3.5	<i>Tablas de las propiedades termodinámicas</i>	105
3.5.1	<i>Región de vapor sobrecalentado</i>	106
3.5.2	<i>Líquido-vapor saturado y región de vapor húmedo</i>	109
3.5.3	<i>Región de líquido comprimido o subenfriado</i>	114
3.5.4	<i>Región de la mezcla saturada sólido-vapor</i>	117
3.5.5	<i>Región de sólido comprimido</i>	119
3.6	<i>Procedimiento sistemático para la lectura de las tablas de propiedades</i>	121
3.7	<i>Rutinas de computador para las propiedades termodinámicas</i>	122
3.8	<i>Resumen</i>	123
	<i>Referencias</i>	123
	<i>Preguntas</i>	124
	<i>Problemas</i>	126

CAPÍTULO 4 **Gas ideal y gas real** **131**

4.1	<i>Definición de gas ideal</i>	131
4.2	<i>Comparación de los gases ideales con los gases reales</i>	134
4.3	<i>Energía interna y entalpía de los gases ideales</i>	137
4.4	<i>Calores específicos de los gases ideales</i>	137
4.5	<i>Tablas de gas ideal y rutinas de computador</i>	142
4.6	<i>Principio de estados correspondientes y gráficas de compresibilidad</i>	142
4.7	<i>Ecuaciones de estado para los gases reales</i>	146
4.7.1	<i>Ecuación de van der Waals</i>	146
4.7.2	<i>Ecuación de Beattie-Bridgeman</i>	148
4.7.3	<i>Ecuación de Redlich-Kwong</i>	149
4.7.4	<i>Forma virial de la ecuación de estado</i>	151
4.8	<i>Resumen</i>	153
	<i>Referencias</i>	154
	<i>Preguntas</i>	154
	<i>Problemas</i>	155

CAPÍTULO 5 **Procesos, trabajo y calor** **161**

5.1	<i>Introducción</i>	161
5.2	<i>Procesos</i>	162
5.3	<i>Trabajo</i>	165
5.3.1	<i>Definiciones de trabajo</i>	165
5.3.2	<i>Trabajo de desplazamiento mecánico</i>	171
5.3.3	<i>Trabajo motor mecánico</i>	185
5.3.4	<i>Trabajo eléctrico</i>	188
5.3.5	<i>Otros tipos de trabajo</i>	190

5.4	<i>Calor</i>	190
5.4.1	<i>Definición de calor</i>	190
5.4.2	<i>El calor desde una perspectiva fenomenológica</i>	191
5.4.3	<i>Comparación de calor con trabajo</i>	197
5.5	<i>Resumen</i>	198
	<i>Referencias</i>	198
	<i>Preguntas</i>	199
	<i>Problemas</i>	201
CAPÍTULO 6	<i>Primera ley de la termodinámica</i>	208
6.1	<i>Introducción</i>	208
6.2	<i>Producción de un efecto de calentamiento por medio del trabajo</i>	208
6.3	<i>Primera ley de la termodinámica para un sistema cerrado</i>	210
6.4	<i>Ejemplos de la primera ley aplicada a un sistema cerrado</i>	216
6.5	<i>Primera ley de la termodinámica para un volumen de control (sistema abierto)</i>	226
6.6	<i>Ejemplos de la primera ley aplicada a un volumen de control</i>	233
6.7	<i>Resumen</i>	245
	<i>Referencias</i>	246
	<i>Preguntas</i>	246
	<i>Problemas</i>	248
CAPÍTULO 7	<i>La segunda ley de la termodinámica</i>	258
7.1	<i>Introducción</i>	258
7.2	<i>Depósitos, máquinas de calor y refrigeradores</i>	260
7.3	<i>Enunciados de la segunda ley</i>	266
7.4	<i>Máquinas de movimiento perpetuo</i>	269
7.5	<i>Reversibilidad e irreversibilidad</i>	269
7.6	<i>Ciclo Carnot</i>	270
7.7	<i>Algunos corolarios de la segunda ley</i>	273
7.7.1	<i>Máquinas con el ciclo Carnot que funcionan entre dos depósitos</i>	274
7.7.2	<i>Corolario respecto a la escala de temperatura termodinámica</i>	277
7.7.3	<i>Eficiencia de los dispositivos Carnot</i>	278
7.7.4	<i>Desigualdad de Clausius</i>	279
7.8	<i>Resumen</i>	284
	<i>Referencias</i>	285
	<i>Preguntas</i>	285
	<i>Problemas</i>	287
CAPÍTULO 8	<i>Entropía</i>	293
8.1	<i>Introducción</i>	293
8.2	<i>La entropía como una propiedad</i>	294

8.3	<i>La entropía y la tercera ley de la termodinámica</i>	296
8.4	<i>La primera y la segunda ley combinadas</i>	296
8.5	<i>Cambio de entropía de una sustancia pura</i>	298
8.6	<i>Proceso isentrópico</i>	303
8.7	<i>Diagrama T-S del ciclo de Carnot</i>	314
8.8	<i>Principio del incremento de entropía para un sistema cerrado</i>	318
8.9	<i>Principio del incremento de entropía para un volumen de control</i>	324
8.10	<i>Eficiencia de dispositivos</i>	338
8.11	<i>Resumen</i>	343
	<i>Referencias</i>	343
	<i>Preguntas</i>	343
	<i>Problemas</i>	344
CAPÍTULO 9	<i>Disponibilidad termodinámica</i>	353
9.1	<i>Introducción</i>	353
9.2	<i>Exergía en procesos sin flujo</i>	361
9.2.1	<i>Expresiones para la exergía de un sistema cerrado</i>	361
9.2.2	<i>Equivalencia entre formas de energía mecánica y exergía</i>	373
9.2.3	<i>Flujo de exergía (χ_o) asociado con el flujo de calor (Q)</i>	376
9.2.4	<i>Consumo de exergía y generación de entropía</i>	386
9.3	<i>Exergía en procesos de flujo estable</i>	390
9.3.1	<i>Expresiones para la exergía en procesos de flujo estable</i>	390
9.3.2	<i>Díspación de exergía y generación de entropía</i>	397
9.3.3	<i>Expresiones alternativas para la velocidad de flujo de exergía asociado con un flujo de masa</i>	399
9.4	<i>Flujo de exergía y ciclos termodinámicos óptimos</i>	402
9.5	<i>Resumen</i>	407
	<i>Referencias</i>	408
	<i>Preguntas</i>	409
	<i>Problemas</i>	410
CAPÍTULO 10	<i>Termodinámica de los ciclos de las máquinas de calor</i>	418
10.1	<i>Introducción</i>	418
10.2	<i>Modelado termodinámico de las máquinas de calor</i>	421
10.2.1	<i>Ciclos de máquinas de calor ideales</i>	422
10.2.2	<i>Criterios de rendimiento para máquinas de calor</i>	425
10.2.3	<i>Procedimiento para el análisis del ciclo de una máquina de calor</i>	432
10.3	<i>Ciclos de energía de vapor</i>	432
10.3.1	<i>Análisis termodinámico del ciclo Rankine básico</i>	433
10.3.2	<i>Modificaciones al ciclo Rankine básico</i>	444
10.4	<i>Ciclos de energía de gas (turbina)</i>	461
10.4.1	<i>Turbina de gas simple</i>	462
10.4.2	<i>Modificaciones al ciclo básico de una turbina de gas</i>	477

10.5	<i>Motores de combustión interna alternativos</i>	480
10.5.1	<i>Principio de funcionamiento</i>	480
10.5.2	<i>Ciclo Otto de aire estándar y ciclo Diesel</i>	485
10.6	<i>Ciclos de potencia óptimos</i>	506
10.7	<i>Resumen</i>	518
	<i>Referencias</i>	520
	<i>Preguntas</i>	521
	<i>Problemas</i>	521
CAPÍTULO 11	<i>Ciclos de refrigeración</i>	537
11.1	<i>Introducción</i>	537
11.2	<i>Principios de refrigeración</i>	537
11.2.1	<i>Principio del enfriamiento evaporativo</i>	538
11.2.2	<i>Ciclos de refrigeración por gas</i>	541
11.2.3	<i>Refrigeración termoeléctrica</i>	543
11.3	<i>Evaluación termodinámica de ciclos de refrigeración</i>	544
11.3.1	<i>Criterios de rendimiento</i>	544
11.3.2	<i>Modelado termodinámico de los sistemas de refrigeración y de calefacción</i>	546
11.4	<i>Ciclos de compresión de vapor</i>	552
11.5	<i>Ciclos de refrigeración por absorción</i>	562
11.6	<i>Ciclo de refrigeración por gas con aire estándar</i>	564
11.7	<i>Consideraciones de la segunda ley</i>	566
11.8	<i>Resumen</i>	570
	<i>Referencias</i>	571
	<i>Preguntas</i>	572
	<i>Problemas</i>	573
CAPÍTULO 12	<i>Relaciones entre propiedades termodinámicas</i>	583
12.1	<i>Introducción</i>	583
12.2	<i>Consideraciones matemáticas</i>	585
12.3	<i>Relaciones de Maxwell</i>	587
12.4	<i>Calor específico (a p constante y v constante)</i>	589
12.5	<i>Entalpía, energía interna y entropía</i>	592
12.6	<i>Ecuación de Clapeyron</i>	595
12.7	<i>Coefficientes físicos</i>	597
12.8	<i>Desarrollo de tablas de propiedades con base en datos experimentales de sustancias reales</i>	599
12.9	<i>Gráficas generalizadas para gases reales</i>	603
12.9.1	<i>Gráfica para entalpía</i>	603
12.9.2	<i>Gráfica para entropía</i>	605
12.10	<i>Resumen</i>	607
	<i>Referencias</i>	608
	<i>Preguntas</i>	608
	<i>Problemas</i>	609

CAPÍTULO 13	Mezclas de gas ideal no reactivas	613
13.1	Introducción	613
13.2	Leyes aditivas para mezclas de gases ideales	618
13.2.1	Relación pVT para mezclas de gases ideales	619
13.2.2	Ley de Gibbs-Dalton para mezclas de gas ideal	624
13.3	Mezclas de aire y vapor de agua	636
13.3.1	Parámetros de humedad	637
13.3.2	Gráfica sicrométrica	647
13.3.3	Termodinámica de los procesos sicrométricos	653
13.3.4	Código de computador PSY para el análisis de procesos sicrométricos	662
13.4	Resumen	667
	Referencias	668
	Preguntas	669
	Problemas	669
CAPÍTULO 14	Combustión	677
14.1	Introducción	677
14.2	Conservación de masa y especies atómicas	679
14.3	Estequiometría de reacciones	681
14.4	Procesos de combustión reales	691
14.5	Análisis termodinámico de procesos de combustión	695
14.6	Análisis según la primera ley de procesos de combustión	697
14.6.1	Entalpía de formación	698
14.6.2	Entalpía de sustancias químicas	700
14.6.3	Entalpía de reacción y poderes caloríficos	703
14.6.4	Aplicación de la primera ley a procesos con flujo	707
14.6.5	Temperatura de llama adiabática	714
14.7	Análisis según la segunda ley	718
14.7.1	Cambio de entropía en sistemas reactivos	718
14.7.2	Análisis de exergía para sistemas reactivos	723
14.8	Resumen	730
	Referencias	732
	Preguntas	732
	Problemas	733
CAPÍTULO 15	Equilibrio químico	742
15.1	Introducción	742
15.2	Criterios de equilibrio	742
15.3	Equilibrio y potencial químico	747
15.4	Equilibrio de reacción	749
15.5	Constante de equilibrio	752

<i>15.6 Composiciones de equilibrio</i>	<i>756</i>
<i>15.7 Maximización de la exergía liberada en reacciones químicas</i>	<i>770</i>
<i>15.8 Resumen</i>	<i>774</i>
<i>Referencias</i>	<i>774</i>
<i>Preguntas</i>	<i>775</i>
<i>Problemas</i>	<i>775</i>

APÉNDICE A	<i>Tablas de propiedades y constantes en unidades SI</i>	<i>A1</i>
APÉNDICE B	<i>Tablas de propiedades y constantes en unidades del sistema inglés</i>	<i>A59</i>
APÉNDICE C	<i>Gráficas generalizadas y gráficas psicrométricas</i>	<i>A131</i>
APÉNDICE D	<i>Códigos de computador para las propiedades termodinámicas de sustancias comunes encontradas en aplicaciones de ingeniería</i>	<i>A141</i>
	<i>Respuestas a problemas seleccionados</i>	<i>A157</i>
	<i>Índice de materias</i>	<i>I.1</i>