
CONTENIDO

Prefacio	xii
1 Introducción	1
1.1 El alcance de la termodinámica	1
1.2 Dimensiones y unidades	2
1.3 Fuerza	3
1.4 Temperatura	4
1.5 Cantidades derivadas; volumen	8
1.6 Presión	9
1.7 Trabajo	11
1.8 Energía	12
1.9 Calor	17
Problemas	19
2 La primera ley y otros conceptos básicos	21
2.1 Experimentos de Joule	21
2.2 Energía interna	21
2.3 Formulación de la primera ley de la termodinámica	22
2.4 El estado termodinámico y las funciones de estado	24
2.5 Entalpía	29
2.6 Sistemas abiertos en estado estable	30
2.7 Equilibrio	37
2.8 La regla de las fases	37
2.9 Los procesos reversibles	39
2.10 Notación; procesos a volumen constante y a presión constante	45
2.11 Capacidad calorífica	46
Problemas	51

3 Propiedades volumétricas de fluidos puros	55
3.1 El comportamiento PVT de las sustancias puras	55
3.2 La ecuación Virial	61
3.3 El gas ideal	64
3.4 Aplicación de la ecuación virial	78
3.5 Ecuaciones de estado cúbicas	81
3.6 Correlaciones generalizadas para gases	86
3.7 Correlaciones generalizadas para líquidos	98
Problemas	100
4 Efectos caloríficos	107
4.1 Efectos térmicos del calor sensible	108
4.2 Efectos térmicos que acompañan a los cambios de fase de sustancias puras	116
4.3 El calor de reacción estándar	118
4.4 El calor de formación estándar	120
4.5 El calor de combustión estándar	125
4.6 Efecto de la temperatura en el calor de reacción estándar	125
4.7 Efectos caloríficos de reacciones industriales	129
Problemas	135
5 Segunda ley de la termodinámica	141
5.1 Enunciados de la segunda ley	142
5.2 La máquina térmica	143
5.3 Escalas termodinámicas de temperatura	146
5.4 Ciclo de Carnot para un gas ideal; la escala Kelvin como una escala termodinámica de temperatura	148
5.5 Entropía	151
5.6 Cambio de la entropía de un gas ideal	155
5.7 Principio del aumento de entropía; enunciado matemático de la segunda ley	159
5.8 Punto de vista microscópico de la entropía (termodinámica estadística)	163
5.9 La tercera ley de la termodinámica	166
Problemas	167
6 Propiedades termodinámicas de los fluidos	171
6.1 Relaciones entre las propiedades termodinámicas para una fase homogénea de composición constante	172
6.2 Propiedades residuales	178
6.3 Sistemas difásicos	186
6.4 Diagramas termodinámicos	189
6.5 Tablas de propiedades termodinámicas	191

6.6 Correlaciones generalizadas de las propiedades termodinámicas para gases	194
Problemas	209
7 Termodinámica de procesos de flujo	215
7.1 Ecuaciones fundamentales	216
7.2 Flujo en tuberías	224
7.3 Procesos de expansión	226
7.4 Procesos de compresión	241
Problemas	248
8 Conversión de calor en trabajo mediante ciclos de potencia	255
8.1 La planta termoeléctrica de vapor	256
8.2 Máquinas de combustión interna	268
8.3 La máquina de Otto	268
8.4 La máquina Diesel	271
8.5 La planta de potencia con turbina de gas	273
8.6 Máquinas de propulsión a chorro; cohetes	277
Problemas	278
9 Refrigeración y licuefacción	281
9.1 El refrigerador de Carnot	282
9.2 Ciclo de compresión de vapor	283
9.3 Comparación de los ciclos de refrigeración	285
9.4 La selección del refrigerante	290
9.5 Refrigeración por absorción	295
9.6 La bomba de calor	297
9.7 Procesos de licuefacción	298
Problemas	302
10 Sistemas de composición variable. Comportamiento ideal	305
10.1 Relación fundamental entre propiedades	305
10.2 El potencial químico como un criterio de equilibrio de fases	306
10.3 La mezcla de gases ideales	308
10.4 La solución ideal	310
10.5 Ley de Raoult	312
Problemas	325
11 Sistemas de composición variable. Comportamiento real	329
11.1 Propiedades parciales	330
11.2 Fluoracidad y coeficiente de fugacidad	334

11.3 Fugacidad y coeficiente de fugacidad para componentes <i>i</i> en solución	340
11.4 Correlaciones generalizadas para el coeficiente de fugacidad	343
11.5 La energía de Gibbs en exceso	353
11.6 Coeficientes de actividad a partir de datos ELV	355
Problemas	366
12 Equilibrio de fases a presiones bajas y moderadas	371
12.1 La naturaleza del equilibrio	371
12.2 La regla de las fases. Teorema de Duhem	372
12.3 Comportamiento de las fases para sistemas líquido/vapor	373
12.4 ELV a baja presión por correlaciones de datos	383
12.5 Cálculos de punto de rocío y punto de burbuja	391
12.6 Cálculos de evaporación instantánea	404
12.7 f_i en función de la composición	408
12.8 Ley de Henry como modelo para el comportamiento ideal de un soluto	414
Problemas	420
13 Termodinámica de las soluciones	429
13.1 Relaciones entre propiedades parciales para soluciones de composición constante	429
13.2 La solución ideal	431
13.3 La relación fundamental entre propiedades residuales	433
13.4 La relación fundamental entre propiedades en exceso	435
13.5 Evaluación de propiedades parciales	437
13.6 Cambio en las propiedades por mezclado	442
13.7 Efectos caloríficos en procesos de mezclado	446
13.8 Equilibrio y estabilidad	461
13.9 Sistemas de miscibilidad limitada en fase líquida	467
Problemas	478
14 Propiedades termodinámicas y ELV a partir de ecuaciones de estado	485
14.1 Propiedades de fluidos a partir de las ecuaciones de estado viriales	485
14.2 Propiedades de fluidos a partir de las ecuaciones de estado cúbicas	489
14.3 Equilibrio líquido/vapor a partir de ecuaciones de estado cúbicas	494
Problemas	508
15 Equilibrio en reacciones químicas	511
15.1 La coordenada de reacción	512
15.2 Aplicación de los criterios de equilibrio a reacciones químicas	517
15.3 Cambio de la energía de Gibbs estándar y la constante de equilibrio	518
15.4 Efecto de la temperatura sobre la constante de equilibrio	523

15.5 Evaluación de las constantes de equilibrio	525
15.6 Relaciones entre constantes de equilibrio y composición	529
15.7 Cálculo de conversiones en el equilibrio para una sola reacción	534
15.8 La regla de fases y el teorema de Duhem para sistemas en reacción	545
15.9 Equilibrio en reacciones múltiples	548
Problemas	558
16 Análisis termodinámico de procesos	565
16.1 Relación de la segunda ley para sistemas abiertos de flujo en estado estable	565
16.2 Cálculo del trabajo ideal	566
16.3 Trabajo perdido	571
16.4 Análisis termodinámico de sistemas abiertos en estado estable	573
Problemas	582
Apéndices	
A Factores de conversión y valores de la constante de los gases	587
B Constantes críticas y factores acéntricos	589
C Tablas de vapor	591
D Método UNIFAC	695
E Método de Newton	703
Indices	707

15.5 Evaluación de las constantes de equilibrio	525
15.6 Relaciones entre constantes de equilibrio y composición	529
15.7 Cálculo de conversiones en el equilibrio para una sola reacción	534
15.8 La regla de fases y el teorema de Duhem para sistemas en reacción	545
15.9 Equilibrio en reacciones múltiples	548
Problemas	558
16 Análisis termodinámico de procesos	565
16.1 Relación de la segunda ley para sistemas abiertos de flujo en estado estable	565
16.2 Cálculo del trabajo ideal	566
16.3 Trabajo perdido	571
16.4 Análisis termodinámico de sistemas abiertos en estado estable	573
Problemas	582
Apéndices	
A Factores de conversión y valores de la constante de los gases	587
B Constantes críticas y factores acéntricos	589
C Tablas de vapor	591
D Método UNIFAC	695
E Método de Newton	703
Indices	707