

## INDICE

Prefacio	XV
1. Conceptos básicos y definiciones	1
1.1. naturaleza de la termodinámica	2
1.2. dimensiones y unidades	3
1.3. sistema, propiedades y estado	8
1.4. densidad, volumen específico y densidad relativa	
1.5. presión	12
1.6. Ley cero y temperatura	18
1.7. técnicas de resolución de problemas	23
1.8. resumen	24
problemas	25
<b>2. La primera ley de termodinámica</b>	<b>33</b>
2.1. conceptos de trabajo y energía	34
2.2. la primera ley de la termodinámica	44
2.3. principio de conservación de la energía para sistemas cerrados	46
2.4. naturaleza de la energía E	51
2.5. transferencia de calor	53
2.6. trabajo de expansión y compresión	55
2.7. trabajo de un muelle elástico	64
2.8. otras formas de trabajo cuasiestático	66
2.9. resumen	69
problemas	70
<b>3. Propiedades de una sustancia pura, simple compresible</b>	<b>87</b>
3.1. el postulado de estado y sistemas simples	88
3.2. superficie PvT	89
3.3. diagrama presión-temperatura	91
3.4. diagrama presión-volumen específico	93
3.5. diagrama temperatura-volumen específico	94
3.6. tablas de propiedades de sustancias puras	95
3.7. datos de las tablas y análisis energético de un sistema cerrado	108
3.8. las capacidades térmicas específicas	114
3.9. resumen	116
3.10. Apéndice: fundamentos de las derivadas parciales	118
problemas	119
<b>4. Los modelos de gas ideal, de estados correspondientes y de sustancias incompresibles</b>	<b>135</b>
4.1. ecuación de estado de gas ideal	136
4.2. relaciones entre la energía interna, la entalpía y las capacidades térmicas específicas de los gases ideales	139
4.3. capacidades térmicas específicas de los gases ideales	141
4.4. análisis energético de sistemas cerrados que obedecen al modelo de gas ideal	146
4.5. el factor de compresibilidad y el principio de los estados correspondientes	150
4.6. relaciones entre propiedades para sustancias incompresibles	156
4.7. resumen	160
problemas	161

<b>5. Análisis energético de volúmenes de control</b>	179
5.1. Introducción	
5.2. principio de conservación de la masa para un volumen de control	180
5.3. principio de conservación de la energía para un volumen de control	186
5.4. ecuaciones de la energía para un volumen de control en régimen estacionario	191
5.5. comentarios sobre las técnicas de resolución de problemas	193
5.6. aplicaciones de ingeniería en las que aparecen volúmenes de control en régimen estacionario	196
5.7. introducción a los ciclos termodinámicos	209
5.8. análisis de flujos transitorios (no estacionarios)	213
5.9. resumen	222
problema	224
<b>6. La segunda ley y la entropía</b>	249
6.1. Introducción	250
6.2. motores térmicos, maquinas frigoríficas y bombas de calor	251
6.3. enunciados de la segunda ley	257
6.4. procesos reversibles e irreversibles	262
6.5. Segunda ley y entropía. Presentación clásica	265
6.6. Segunda ley y entropía. Presentación alternativa	278
6.7. balance de entropía en volúmenes de control	286
6.8. principio del incremento de entropía para sistemas cerrados	287
6.9. limitaciones debidas a la segunda ley en las actuaciones de motores térmicos, maquinas frigoríficas y bombas de calor	289
6.10. transferencia de calor y diagrama TS	299
6.11. aplicaciones	305
6.12. la entropía en función de la aleatoriedad y de la probabilidad	311
6.13. resumen	315
problemas	317
<b>7. Calculo de variaciones de entropía y balance de entropía en un volumen de control</b>	339
7.1. presentación en forma gráfica y de tablas de los datos de entropía	340
7.2. ecuaciones $T dS$ para sustancias, simples compresibles	346
7.3. variación de entropía de un gas ideal	348
7.4. variación de entropía de una sustancia incomprensible	352
7.5. aplicación del balance de entropía a un volumen de control en régimen estacionario	355
7.6. expresiones del trabajo en régimen estacionario	364
7.7. resumen	369
problemas	370
<b>8. Algunas consecuencias de la segunda ley</b>	385
8.1. Introducción	386
8.2. rendimiento adiabáticos de dispositivos en régimen estacionario	396
8.3. el ciclo de Carnot	409
8.4. el proceso no estacionario de descarga adiabática	413
8.5. resumen	415
problemas	416
<b>9. Energía (disponibilidad) e irreversibilidad</b>	433
9.1. Introducción	434

9.2. trabajo y producción de entropía	
9.3. exergía	437
9.4. análisis exergético de un volumen de control	449
9.5. rendimiento exergético o efectividad	456
9.6. resumen	463
problemas	465
<b>10. Mezclas no reactivas de gases ideales</b>	473
10.1. análisis de la composición de las mezclas de gases	474
10.2. relaciones PvT para mezclas de gases ideales	478
10.3. energía interna, entalpía y entropía de mezclas de gases ideales	480
10.4. procesos de mezclas de gases ideales	487
10.5. propiedades de una mezclas de gases ideal y un vapor	491
10.6. temperatura de saturación adiabática y temperatura de bulbo húmedo	498
10.7. el diagrama psicrométrico	501
10.8. procesos de acondicionamiento de aire	504
10.9. resumen	522
problemas	524
<b>11. Comportamiento PvT de los gases reales y de las mezclas de gases reales</b>	549
11.1. la ecuación de estado de virial	550
11.2. ecuaciones de estado con dos constantes	551
11.3. otras ecuaciones de estado	554
11.4. mezclas de gases ideales	556
11.5. resumen	561
Lecturas recomendadas y referencias	
problemas	562
<b>12. Relaciones termodinámicas generalizadas</b>	567
12.1. algunas relaciones fundamentales entre propiedades	568
12.2. algunas relaciones fundamentales entre propiedades	569
12.3. relaciones generalizadas para la variaciones de entropía, energía interna y entalpía	572
12.4. relaciones generalizadas para cp y cv	576
12.5. presión de vapor y ecuación de Clapeyron	581
12.6. coeficiente de Joule-Thomson	584
12.7. diagramas termodinámicos generalizados	587
12.8. elaboración de las tablas de propiedades	594
12.9. resumen	596
problemas	597
<b>13. Reacciones químicas</b>	607
13.1. estequiometría de las reacciones	608
13.2. procesos reales de combustión	614
13.3. entalpía de formación	617
13.4. análisis energético de mezclas reactivas en régimen estacionario	620
13.5. temperatura de combustión adiabática	625
13.6. análisis termoquímico a volumen constante	628
13.7. entalpía de reacción y poderes caloríficos	632
13.8. estudio de las reacciones mediante la segunda ley	636
13.9. análisis energético de sistemas reactivos	642

13.10. pilas de combustible	647
13.11. resumen	653
problemas	656
<b>14. Equilibrio químico</b>	677
14.1. Introducción	678
14.2. el criterio de Gibbs	680
14.3. equilibrio potencial químico	682
14.4. el potencial químico de un gas ideal	683
14.5. las constantes de equilibrio $K_o$ y $K_p$	684
14.6. calculo de los valores de $K_o$	687
14.7. calculo de la composición de equilibrio	688
14.8. análisis de la primera ley aplicada a mezcla de gases ideales en equilibrio	694
14.9. la ecuación de Vant Hoff que relaciona $K_o$ y $A_{hr}$	697
14.10. reacciones simultaneas	699
14.11. resumen	701
problemas	702
<b>15. Ciclos de potencia de gas</b>	715
15.1. ciclo de aire estándar	
15.2. ciclo de Carnot con aire estándar	716
15.3. nomenclatura básica de los dispositivos alternativos	719
15.4. el ciclo Otto con aire estándar	720
15.5. el ciclo Diesel de aire estándar y el ciclo dual	724
15.6. el ciclo Brayton de aire estándar	731
15.7. efecto de las irreversibilidades del compresor y de la turbina	737
15.8. el ciclo negativo de la turbina de gas	740
15.9. procesos de refrigeración intermedia y recalentamiento	744
15.10. ciclos de turbina de gas con refrigeración intermedia y recalentamiento	749
15.11. análisis exergético de un ciclo de turbina de gas	752
15.12. turbinas de gas para propulsión por chorro	758
15.13. ciclos de turbina de gas ciclo cerrado	767
15.14. los ciclos Ericsson y Stirling	769
15.15. resumen	771
problemas	772
<b>16. Ciclos de potencia de vapor</b>	801
16.1. el ciclo Rankine	802
16.2. el ciclo con recalentamiento	812
16.3. el ciclo generativo	815
16.4. sistemas de cogeneración	827
16.5. el ciclo combinado	830
16.6. aplicaciones de los ciclos de vapor	835
16.7. análisis exergético de un ciclo de potencia de vapor simple	840
16.8. resumen	844
problemas	845
<b>17. Sistemas de refrigeración</b>	871
17.1. el ciclo de Carnot inverso	872
17.2. el ciclo de refrigeración por comprensión de vapor	873
17.3. bombas de calor	883

17.4. sistemas de refrigeración por compresión de vapor en cascada y multietapa	884
17.5. licuación y solidificación de gaseas	890
17.6. ciclos de refrigeración con gas	892
17.7.ciclo Stirling de refrigeración	894
17.8. refrigeración por absorción	896
17.9. análisis exergético del ciclo de refrigeración por compresión	899
17.10. resumen	
problemas	903
Bibliografía	923