

## INDICE

<b>Prefacio</b>	13
<b>Nomenclatura</b>	17
<b>1. Conceptos de terminología</b>	
1-1 introducción	23
1-2. definiciones	
1-2-1 sistemas: cerrado, abierto y aislado	25
1-2-2 propiedad, equilibrio, estado y proceso	28
1-2-3 funciones de punto y trayectoria, ciclos	31
1-3 unidades y dimensiones	34
1-4 presión	37
1-5 temperatura	42
1-6 calor	44
1-7 trabajo	46
1-8 resumen	55
<b>2. Propiedades de las sustancias</b>	
2-1 introducción	63
2-2 definiciones	
2-2-1 propiedades extensivas e intensivas	64
2-2-2 propiedades físicas y termodinámicas	
2-2-3 sustancias homogéneas y fases	65
2-3 el postulado de estado	66
2-4 la energía total	67
2-4-1 energía cinética	
2-4-2 energía potencial	69
2-4-3 energía interna	72
2-4-4 entalpía	
2-5 diagramas de equilibrio	74
2-6 propiedades de sustancias puras	
2-6-1 la región de vapor sobrecalentado	83
2-6-2 la región de liquido comprimido o subenfriado	85
2-6-3 la región de saturación liquido-vapor	86
2-7 calores específicos	94
2-8 gases ideales	98
2-8-1 gases ideales con calores específicos variando linealmente	109
2-8-2 gases ideales con calores específicos constantes	111
2-8-3 procesos politrópicos para gases ideales	112
2-9 sustancias incompresibles	115
2-10 aproximación de propiedades para estados de liquido comprimido	118
2-11 resumen	121
<b>3. Conservación de la masa</b>	
3-1 introducción	133
3-2 ecuación general de la conservación de la masa	
3-3 conservación de la masa para sistemas cerrados	137
3-4 conservación de la masa para sistemas abiertos	141
3-4-1 flujo uniforme	144
3-4-2 estado estable	145
3-4-3 análisis transitorio	150

3-5 resumen	153
<b>4. Conservación de la energía</b>	161
4-1 introducción	
4-2 ecuación general de la conservación de la energía	162
4-3 organización de problemas para el análisis de sistemas termodinámicos	169
4-4 conservación de la energía para sistemas cerrados	172
4-5 conservación de energía para sistemas abiertos	
4-5-1 flujo uniforme	188
4-5-1 estado estable	191
4-5-3 análisis transitorio	211
4-6 introducción a ciclos termodinámicos sencillos	223
4-7 resumen	234
<b>5. Entropía y la segunda ley de la termodinámica</b>	
5-1 introducción	257
5-2 procesos reversibles e irreversibles	259
5-3 depósitos de energía térmica	261
5-4 la exposición de Clausius de la segunda ley de la termodinámica; refrigeradores y equipos de enfriamiento utilizados como calentadores	265
5-5 la exposición de Kelvin-Planck de la segunda ley de la termodinámica; máquinas térmicas	269
5-6 principio de Carnot y la escala termodinámica de temperatura	273
5-7 la desigualdad de Clausius y la entropía	281
5-8 las ecuaciones T ds	291
5-9 la variación de entropía para gases ideales	
5-9-1 procesos arbitrarios para gases ideales	294
5-9-2 procesos isentrópicos para gases ideales	297
5-10 la variación de entropía para sustancias incompresibles	304
5-11 la variación de entropía para sustancias puras	306
5-12 el principio de aumento de entropía	308
5-13 el ciclo Carnot	313
5-14 Resumen	318
<b>6. Análisis de la segunda ley de sistemas termodinámicos</b>	
6-1 introducción	331
6-2 una expresión general para la relación total de la variación de entropía	332
6-3 trabajo reversible e irreversibilidad	343
6-4 trabajo máximo y disponibilidad	353
6-5 análisis de la segunda ley de sistemas cerrados	368
6-6 análisis de la segunda ley de sistemas abiertos	
6-6-1 estado estable	382
6-6-2 sistemas transitorios	400
6-7 Resumen	404
<b>7. Ciclo con gas</b>	
7-1 introducción	419
7-2 consideraciones fundamentales	
7-3 ciclos ideales y reales	422
7-4 suposiciones de aire normal	425
7-5 ciclo Carnot con gas	426

7-6 ciclos Stirling y Ericsson	432
7-7 ciclo Otto ideal	437
7-8 ciclo Diesel ideal	450
7-9 ciclo Brayton ideal	459
7-10 ciclo Brayton ideal con regeneración	468
7-11 ciclo Brayton ideal con interenfriamiento y recalentamiento	484
7-13 ciclo ideal de refrigeración con gas	497
7-14 ciclos reales con gas	501
7-15 resumen	509
<b>8. Ciclos con vapor</b>	
8-1 introducción	525
8-2 ciclo Rankine ideal	526
8-3 ciclo Rankine ideal modificado con recalentamiento	540
8-4 ciclo Rankine ideal modificado con regeneración	546
8-5 ciclo ideal con refrigeración por compresión de vapor	553
8-6 ciclos reales con vapor	559
8-7 resumen	569
<b>9. Relaciones termodinámicas</b>	
9-1 introducción	581
9-2 matemáticas preliminares	
9-3 las ecuaciones de Gibbs y las relaciones de Maxwell	585
9-4 ecuaciones generales para $du$ , $dh$ y $ds$	
9-4-1 energía interna	589
9-4-2 entalpía	591
9-4-3 entropía	592
9-5 ecuaciones generales para calores específicos	597
9-6 otras relaciones termodinámicas	
9-6-1 la ecuación de Clapeyron	603
9-6-2 el coeficiente de Joule-Thompson	605
9-7 algunas aplicaciones de relaciones termodinámicas	
9-7-1 gases ideales	609
9-7-2 sustancias incomprensibles	612
9-7-3 sustancias puras	613
9-8 resumen	615
<b>10. Comportamiento termodinámico de gases reales</b>	
10-1 introducción	621
10-2 desviación del comportamiento de gas ideal	
10-3 factor de compresibilidad	624
10-4 principio de estados correspondientes	628
10-5 otras ecuaciones de estado	631
10-6 diagramas generalizados para propiedades de gases reales	634
10-7 resumen	646
<b>11. Mezclas no reactivas</b>	
11-1 introducción	651
11-2 características de la mezcla	
11-3 comportamiento P-v-T de mezclas de gases ideales y reales	655
11-4 propiedades de mezclas de gases ideales y reales	666
11-4-1 mezclas de gases ideales	668
11-4-2 mezclas de gases reales	673

11-5 mezclas de aire y vapor de agua	677
11-6 el diagrama psicrométrico	695
11-7 aplicaciones en acondicionamiento de aire	699
11-7-1 calefacción y refrigeración	700
11-7-2 refrigeración con dehumidificación	704
11-7-3 calefacción con humidificación	709
11-7-4 enfriamiento evaporativo	714
11-7-5 mezclado adiabático	718
11-7-6 torre de enfriamiento	725
11-8 resumen	729
<b>12. Termodinámica de las reacciones químicas</b>	
12-1 introducción	741
12-2 conservación de la masa	742
12-3 procesos de combustión teórica	744
12-4 procesos de combustión real	751
12-5 entalpía de formación, entalpía de combustión y calores de combustión	756
12-6 conservación de la energía para sistemas químicamente reactivos	762
12-7 temperatura de flama adiabática	770
12-8 análisis de la segunda ley para sistemas químicamente reactivos	774
12-9 resumen	781
<b>13. Equilibrio químico</b>	
13-1 introducción	791
13-2 equilibrio	
13-3 criterios de equilibrio	792
13-4 la constante de equilibrio	799
13-5- calculo de composiciones en equilibrio	809
13-6 efecto de los gases inertes sobre el equilibrio	815
13-7 equilibrio para reacciones simultaneas	817
13-8 resumen	820
<b>Bibliografía</b>	825
<b>Apéndices, tablas, figuras y diagramas</b>	829
<b>Apéndice A. Dimensiones y unidades</b>	
Tabla A-1 SI, prefijos de unidades	
Tabla A-2 Unidades fundamentales en el sistema internacional	831
Tabla A-3 Unidades secundarias en el sistema internacional	
Tabla A-4 Unidades en los sistemas SI y US. De uso cotidiano	
Tabla A-5 Factores de conversión de uso común	832
Tabla A-6 Constantes físicas	833
<b>Apéndice B Propiedades del agua</b>	
Tabla B-1 Agua saturada-tabla de temperatura	834
Tabla B-2 Agua saturada-tabla de presión	836
Tabla B-3 Vapor sobrecalentado	838
Tabla B-4 Agua líquida comprimida	841
Fig. B-5 Diagrama de Mollier para agua	842
Fig. B-6 Diagrama T-s para agua	844
<b>Apéndice C Propiedades de refrigerantes</b>	
Tabla C-1 Refrigerante-12 saturado-tabla de temperatura	845
Tabla C-2 Refrigerante-12 saturado-tabla de presión	846

Tabla C-3 Refrigerante-12 sobrecalentado	847
<b>Apéndice D Propiedades de gases ideales</b>	
Tabla D-1 Propiedades de gas ideal del aire (basándose en la masa)	851
Tabla D-2 Propiedades de gas ideal de bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	854
Tabla D-3 Propiedades de gas ideal de monóxido de carbono (CO)	856
Tabla D-4 Propiedades de gas ideal del hidrogeno (H <sub>2</sub> )	858
Tabla D-5 Propiedades de gas ideal del nitrógeno (N <sub>2</sub> )	859
Tabla D-6 Propiedades de gas ideal del oxígeno (O <sub>2</sub> )	861
Tabla D-7 Propiedades de gas ideal de vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	863
Tabla D-8 Calores específicos a presiones cero para algunos gases ideales comunes como una función de la temperatura	865
Tabla D-9 Calores específicos a presión cero y k a 27° C para gases comunes	866
Tabla D-10 Peso molecular y constantes del gases para gases comunes	867
Tabla D-11 Expresiones para calor específico molar a presión constante para gases ideales comunes	
<b>Apéndice E. Diagramas generalizados para gases</b>	
Fig. E-1 Diagrama de compresibilidad, escala del alta presión	868
Fig. E-2 Diagrama de compresibilidad, escala del alta presión	869
Fig. E-3 Diagrama de compresibilidad, escala de presión moderada	870
Fig. E-4 Diagrama generalizado de entalpía	871
Fig. E-5 Diagrama generalizado de entropía	872
<b>Apéndice F. Propiedades de mezcla aire-agua</b>	
Fig. F-1 Diagrama psicrométrico para 1 atm de presión total (101.3 Kpa)	873
<b>Apéndice G. Propiedades de sustancias químicamente reactivas</b>	
Tabla G-1 Entalpía de formación, función Gibbs de formación y entropía absoluta a 25° C, 1 atm	874
Tabla G-2 Entalpía de combustión y entalpía de vaporización a 25° C, 1 atm	875
Tabla G-3 Entalpía de gas ideal y entropía absoluta para CO <sub>2</sub> y CO a 1 atm	876
Tabla G-4 Entalpía de gas ideal y entropía absoluta para H <sub>2</sub> y H a 1 atm	877
Tabla G-5 Entalpía de gas ideal y entropía absoluta para N <sub>2</sub> y N a 1 atm	878
Tabla G-6 Entalpía de gas ideal y entropía absoluta para NO y NO <sub>2</sub> a 1 atm	879
Tabla G-7 Entalpía de gas ideal y entropía absoluta para O <sub>2</sub> y O a atm	880
Tabla G-8 Entalpía de gas ideal y entropía absoluta para H <sub>2</sub> O y OH a 1 atm	881
Tabla G-9 Logaritmos para la bases E de las constantes de equilibrio, K <sub>p</sub>	882
<b>Apéndice H. Propiedades misceláneas</b>	
Tabla H-1 Constantes críticas	883
Tabla H-2 Constantes para las ecuaciones de estado de Beattie-Bridgeman y Benedict-Webb-Rubin	884
Tabla H-3 Calores específicos de líquidos y sólidos comunes (a 1 atm= 101.3 k Pa)	885
Tabla H-4 Propiedades de punto triple para sustancias comunes	886