

# Índice analítico

---

## PARA EMPEZAR: CONCEPTOS Y DEFINICIONES 1

# 1

- 1.1 El uso de la termodinámica 1
- 1.2 Definición de los sistemas 3
- 1.3 Descripción de los sistemas y de su comportamiento 5
- 1.4 Medida de masa, longitud, tiempo y fuerza 9
- 1.5 Dos propiedades mensurables: volumen específico y presión 13
- 1.6 Medida de la temperatura 18
- 1.7 Diseño y análisis en ingeniería 24
- 1.8 Cómo utilizar este libro con eficacia 28
- 1.9 Resumen del capítulo y guía para el estudio 29

---

## LA ENERGÍA Y LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA 35

# 2

- 2.1 Concepto mecánico de la energía 35
- 2.2 Energía transferida mediante trabajo 39
- 2.3 Energía de un sistema 52
- 2.4 Transferencia de energía por calor 56
- 2.5 El balance de energía para sistemas cerrados 60
- 2.6 Análisis energético de ciclos 73
- 2.7 Resumen del capítulo y guía para el estudio 76

---

## PROPIEDADES DE UNA SUSTANCIA PURA, SIMPLE Y COMPRESIBLE 85

# 3

- 3.1 Definición del estado termodinámico 85

## EVALUACIÓN DE PROPIEDADES: CONSIDERACIONES GENERALES 86

- 3.2 La relación  $p$ - $v$ - $T$  87
- 3.3 El cálculo de las propiedades termodinámicas 93
- 3.4 Gráfica generalizada de compresibilidad 113

## CÁLCULO DE PROPIEDADES CON EL MODELO DE GAS IDEAL 119

- 3.5 El modelo de gas ideal 120
- 3.6 Energía interna, entalpía y calores específicos de gases ideales 122
- 3.7 Cálculo de  $\Delta u$  y  $\Delta h$  en gases ideales 125
- 3.8 Procesos politrópicos de un gas ideal 133
- 3.9 Resumen del capítulo y guía para el estudio 135

---

## 4 ANÁLISIS ENERGÉTICO EN UN VOLUMEN DE CONTROL 143

- 4.1 Conservación de la masa para un volumen de control 143
- 4.2 Conservación de la energía para un volumen de control 152
- 4.3 Análisis de volúmenes de control en estado estacionario 157
- 4.4 Análisis de transitorios 180
- 4.5 Resumen del capítulo y guía para el estudio 191

---

## 5 EL SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA 201

- 5.1 Utilización del segundo principio 201
- 5.2 Formulaciones del segundo principio 205
- 5.3 Identificación de irreversibilidades 207
- 5.4 Aplicación del segundo principio a los ciclos termodinámicos 213
- 5.5 La escala Kelvin de temperatura 219
- 5.6 Medidas del rendimiento máximo para ciclos que operan entre dos reservorios 222
- 5.7 El ciclo de Carnot 227
- 5.8 Resumen del capítulo y guía para el estudio 230

---

## 6 LA ENTROPÍA Y SU UTILIZACIÓN 237

- 6.1 La desigualdad de clausius 237
- 6.2 Definición de variación de entropía 240
- 6.3 Obtención de valores de entropía 241
- 6.4 Variación de entropía en procesos internamente reversibles 249
- 6.5 Balance de entropía para sistemas cerrados 253
- 6.6 Balance de entropía para volúmenes de control 266
- 6.7 Procesos isoentrópicos 276
- 6.8 Rendimientos isoentrópicos de turbinas, toberas, compresores y bombas 279
- 6.9 Transferencia de calor y trabajo en procesos de flujo estacionario internamente reversibles 292
- 6.10 Resumen del capítulo y guía para el estudio 296

---

## 7 ANÁLISIS EXERGÉTICO 309

- 7.1 Introducción a la exergía 309
- 7.2 Definición de exergía 310
- 7.3 Balance de exergía para un sistema cerrado 322
- 7.4 Exergía de flujo 330
- 7.5 Balance de exergía para volúmenes de control 334
- 7.6 Eficiencia exergética (segundo principio) 346
- 7.7 Termoeconomía 353
- 7.8 Resumen del capítulo y guía para el estudio 360

8

INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE POTENCIA  
MEDIANTE VAPOR 373

- 8.1 Las instalaciones de potencia de vapor 373
- 8.2 Análisis de las instalaciones de potencia con vapor: el ciclo Rankine 375
- 8.3 Para mejorar el funcionamiento: sobrecalentamiento y recalentamiento 389
- 8.4 Para mejorar el rendimiento: el ciclo de potencia regenerativo 396
- 8.5 Otros aspectos del ciclo de vapor 407
- 8.6 Estudio de un caso: balance exergético de una planta de potencia 410
- 8.7 Resumen del capítulo y guía para el estudio 418

9

INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE POTENCIA  
MEDIANTE GAS 427

MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA 427

- 9.1 Terminología de motores 428
- 9.2 El ciclo Otto de aire-estándar 430
- 9.3 El ciclo diesel de aire-estándar 436
- 9.4 El ciclo dual de aire-estándar 440

CENTRALES ELÉCTRICAS DE TURBINA DE GAS 444

- 9.5 Las centrales de turbina de gas 444
- 9.6 El ciclo Brayton de aire-estándar 445
- 9.7 Turbinas de gas regenerativas 456
- 9.8 Turbinas de gas regenerativas con recalentamiento y refrigeración 461
- 9.9 Turbinas de gas para propulsión aérea 472
- 9.10 Ciclo combinado turbina de gas-ciclo de vapor 477
- 9.11 Los ciclos Ericsson y Stirling 484

FLUJO COMPRESIBLE EN TOBERAS Y DIFUSORES 485

- 9.12 Aspectos preliminares del flujo compresible 485
- 9.13 Flujo unidimensional estacionario en toberas y difusores 490
- 9.14 Flujo de gases ideales con calores específicos constantes en toberas y difusores 497
- 9.15 Resumen del capítulo y guía para el estudio 505

10

SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y BOMBA DE CALOR 515

- 10.1 Sistemas de refrigeración con vapor 515
- 10.2 Análisis de los sistemas de refrigeración por compresión de vapor 518
- 10.3 Propiedades de los refrigerantes 527
- 10.4 Sistemas de compresión de vapor en cascada y multietapa 529
- 10.5 Refrigeración por absorción 531
- 10.6 Bomba de calor 534
- 10.7 Sistemas de refrigeración con gas 536
- 10.8 Resumen del capítulo y guía para el estudio 543

---

# 11 RELACIONES TERMODINÁMICAS 551

- 11.1 Ecuaciones de estado 551
- 11.2 Relaciones matemáticas importantes 559
- 11.3 Deducción de relaciones entre propiedades 563
- 11.4 Cálculo de las variaciones de entropía, energía interna y entalpía 569
- 11.5 Otras relaciones termodinámicas 579
- 11.6 Construcción de tablas de propiedades termodinámicas 586
- 11.7 Gráficas generalizadas para la entalpía y la entropía 592
- 11.8 Relaciones  $p-v-t$  para mezclas de gases 600
- 11.9 Estudio de sistemas multicomponentes 605
- 11.10 Resumen del capítulo y guía para el estudio 620

---

# 12 MEZCLAS NO REACTIVAS DE GASES IDEALES Y PSICROMETRÍA 629

## MEZCLAS DE GASES IDEALES: CONSIDERACIONES GENERALES 629

- 12.1 Descripción de la composición de la mezcla 629
- 12.2 Relaciones  $p-v-t$  en mezclas de gases ideales 634
- 12.3 Cálculo de  $U$ ,  $H$ ,  $S$  y calores específicos 637
- 12.4 Análisis de sistemas que contienen mezclas 639

## APLICACIÓN A LA PSICROMETRÍA 653

- 12.5 Principios básicos de la psicrometría 653
- 12.6 Aplicación de los balances de masa y energía a los sistemas de acondicionamiento de aire 662
- 12.7 Las temperaturas de saturación adiabática y de bulbo húmedo 667
- 12.8 Diagramas psicrométricos 671
- 12.9 Análisis de procesos de acondicionamiento de aire 674
- 12.10 Resumen del capítulo y guía para el estudio 690

---

# 13 MEZCLAS REACTIVAS Y COMBUSTIÓN 701

## FUNDAMENTOS DE LA COMBUSTIÓN 701

- 13.1 El proceso de combustión 701
- 13.2 Conservación de la energía en sistemas reactivos 711
- 13.3 Cálculo de la temperatura adiabática de llama 725
- 13.4 Entropía absoluta y tercer principio de la termodinámica 729
- 13.5 Células de combustible 736

## EXERGÍA QUÍMICA 738

- 13.6 Introducción a la exergía química 738
- 13.7 Exergía química estándar 743
- 13.8 Resumen sobre la exergía 748
- 13.9 Eficiencia exergética de los sistemas reactivos 751
- 13.10 Resumen del capítulo y guía para el estudio 755

---

# 14

EQUILIBRIO QUÍMICO Y DE FASES	765
CONSIDERACIONES PRELIMINARES SOBRE EL EQUILIBRIO	765
14.1 Introducción de los criterios de equilibrio	765
EQUILIBRIO QUÍMICO	770
14.2 Ecuación del equilibrio de reacción	770
14.3 Cálculo de la composición de equilibrio	773
14.4 Ejemplos adicionales del uso de la constante de equilibrio	783
EQUILIBRIO DE FASES	794
14.5 Equilibrio entre dos fases de una sustancia pura	794
14.6 Equilibrio en sistemas multicomponentes y multifásicos	795
14.7 Resumen del capítulo y guía para el estudio	801

---

# A

APÉNDICES	808
Índice de tablas	808
Índice de figuras y gráficos	856
RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECCIONADOS	864
ÍNDICE ALFABÉTICO	867