# Contenido

**Presentación** ..... xi

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1. **TERMOLOGÍA** ..... 3

1.1. ¿Qué es la Termología? ..... 4

1.2. Sinopsis histórica de la Termología ..... 5

1.3. Contenido de la Termología ..... 8

PARTE I. EN TORNO A LA TEMPERATURA

Capítulo 2. **EL PROBLEMA DE LA NATURALEZA DE LA TEMPERATURA** ..... 11

2.1. Brevísimas notas históricas ..... 12

2.2. Introducción filosófica ..... 12

2.2.1. Una palabra, *temperatura*, para tres ámbitos diferentes ..... 12

2.2.2. Realidad e idealidad. Referente y conceptos. Correspondencia compleja ..... 13

2.2.3. Objetivo intrínseco ..... 14

2.3. El *referente* de la temperatura ..... 14

2.4. La *idea* de temperatura ..... 15

2.4.1. Consideraciones introductorias ..... 15

2.4.2. La construcción de la *idea termológica general* de temperatura ..... 16

2.4.3. Consideración complementaria ..... 18

2.5. *Conceptos* de temperatura ..... 18

2.5.1. *Concepto termodinámico* de temperatura ..... 19

2.5.2. *Concepto cinético* de temperatura ..... 20

2.5.3. *Concepto fourieriano* de temperatura ..... 21

2.6. Consideraciones finales ..... 21

Capítulo 3. **El problema de la medición de la temperatura: termometría** ..... 23
3.1. Generalidades ..... 24
3.1.1. Fundamentos científico-filosóficos ..... 24
3.1.2. Noticias históricas ..... 25
3.1.3. Propiedades termométricas ..... 26
3.1.4. Ecuación termométrica ..... 26
3.1.5. Termómetro ..... 27
3.1.6. Sensibilidad termométrica ..... 28
3.2. Ecuaciones termométricas básicas ..... 28
3.2.1. Ecuación termométrica lineal ..... 28
3.2.2. Ecuación termométrica afín ..... 29
3.2.3. Ecuación termométrica cuadrática ..... 30
3.2.4. Ecuación termométrica polinómica general ..... 30
3.3. Termómetros ..... 31
3.3.1. Termómetros de gas a volumen constante ..... 31
3.3.2. Termómetros de resistencia ..... 33
3.3.3. Par termoeléctrico o termopar ..... 35
3.3.4. Termistores ..... 36
Ejercicios resueltos ..... 37
Ejercicios propuestos ..... 46

Capítulo 4. **Dilatación térmica de sólidos** ..... 49
4.1. Introducción ..... 50
4.2. Dilatación lineal ..... 50
4.3. Dilatación superficial ..... 52
4.4. Dilatación cúbica o real ..... 54
4.5. Fórmulas matemáticas de los coeficientes de dilatación ..... 54
4.6. Tensiones térmicas. Relación elemental dilatación térmica-tensión mecánica ..... 54
Ejercicios resueltos ..... 56
Ejercicios propuestos ..... 62

Capítulo 5. **Dilatación térmica de líquidos** ..... 65
5.1. Consideraciones generales ..... 66
5.2. Ecuaciones prácticas ..... 67
5.3. Dilatación anómala del agua ..... 68
Ejercicios resueltos ..... 70
Ejercicios propuestos ..... 74

Capítulo 6. **Teoría de gases** ..... 77
6.1. Generalidades ..... 78
6.1.1. Notas introductorias ..... 78



6.1.2. Noticias históricas ..... 79
6.2. Consideraciones de índole mecánica ..... 80
6.2.1. Propiedades generales (macroscópicas) ..... 80
6.2.2. Descripción físico-matemática de un medio gaseoso: la magnitud presión ..... 80
6.2.3. Principios clásicos de Pascal y Arquímedes ..... 82
6.2.4. Trabajo producido al expansionarse un gas ..... 85
6.3. La atmósfera terrestre: el aire ..... 86
6.3.1. Composición de la atmósfera ..... 86
6.3.2. La presión atmosférica ..... 87
6.4. Teoría del gas ideal ..... 88
6.4.1. Estructura lógico-filosófica ..... 88
6.4.2. Compresión isotérmica (deformación mecánica) del gas ideal. Ley de Boyle-Mariotte ..... 88
6.4.3. Dilatación térmica de los gases. Leyes de Gay-Lussac ..... 89
6.4.4. Ecuación de estado de los gases ideales ..... 90
6.4.5. Reducción de volúmenes y densidades de un gas a condiciones normales ..... 92
6.4.6. Expresiones del trabajo de expansión de un *gas ideal* en los procesos fundamentales ..... 93
6.4.7. Mezcla de gases ideales: ley de Dalton ..... 93
6.5. Gases reales ..... 95
6.5.1. Representación de Amagat. Desviaciones de la ley Boyle-Mariotte ..... 95
6.5.2. Representación de Clapeyron. Valores críticos, curva de saturación ..... 96
6.5.3. Superficies de estados. Diagramas fundamentales ..... 99
6.5.4. Ecuaciones analíticas de estado para gases reales ..... 99
Ejercicios resueltos ..... 100
Ejercicios propuestos ..... 105

## Parte II. En torno al calor

Capítulo 7. **El problema de la naturaleza del calor** ..... 109
7.1. La diferencia de temperatura como causa de los *flujos de calor* ..... 110
7.2. Expresiones físico-matemáticas del calor ..... 111
7.3. El flujo de calor como causa de las diferencias de temperatura ..... 112
7.4. Naturaleza del calor: la era del *calórico* ..... 112
7.5. Naturaleza clásica del calor: *forma de energía* ..... 113
7.6. Naturaleza del calor: perspectiva físico-matemática ..... 114

Capítulo 8. **Teoría elemental de los intercambios de calor de Lavoisier-Laplace: calorimetría** ..... 115
8.1. Fundamentos teóricos ..... 116
8.1.1. Magnitudes primarias específicas ..... 116
8.1.2. Formalismo de la teoría ..... 116
8.1.3. Ampliación de la teoría para cambios de fase ..... 118
8.2. Calorimetría ..... 120

8.2.1. Principios de balance térmico ..... 120
8.2.2. Consideraciones en torno a sólidos y líquidos ..... 120
8.2.3. Consideraciones en torno a los gases ..... 120
8.2.4. Expresiones diferenciales ..... 122
8.2.5. Relación de Mayer ..... 123
Ejercicios resueltos ..... 124
Ejercicios propuestos ..... 129

Capítulo 9. **Teoría analítica de la conducción del calor de Fourier** ..... 133
9.1. Consideraciones preliminares ..... 134
9.1.1. Objeto ..... 134
9.1.2. Contexto de los modos de transmisión del calor ..... 134
9.1.3. Noticias históricas ..... 135
9.1.4. Características fundamentales ..... 135
9.2. Conceptos básicos ..... 136
9.2.1. Esquema filosófico-matemático ..... 136
9.2.2. La causa: el campo térmico ..... 136
9.2.3. El efecto: el flujo térmico ..... 137
9.2.4. El medio: la conductividad térmica ..... 138
9.3. Ley fundamental de Fourier ..... 140
9.3.1. Consideraciones introductorias ..... 140
9.3.2. Expresión elemental, unidireccional ..... 141
9.3.3. Expresión general en medios isótropos ..... 142
9.3.4. Expresión general en medios anisótropos ..... 143
9.4. Ecuación del campo térmico en recintos sólidos ..... 144
9.4.1. Ecuación de balance energético calorífico ..... 144
9.4.2. Ecuación del campo térmico en un medio anisótropo ..... 144
9.4.3. Ecuación del campo térmico en un medio isótropo ..... 146
9.4.4. Casos particulares relativos al régimen ..... 146
9.4.5. Notas complementarias ..... 147
9.5. Condiciones de contorno ..... 147
9.5.1. Superficie en contacto con un fluido ..... 147
9.5.2. Superficie isoterma ..... 148
9.5.3. Superficies adiabáticas ..... 148
9.6. Ejemplos clásicos con solución analítica ..... 148
9.6.1. Notas introductorias ..... 148
9.6.2. Problema del «muro indefinido» ..... 149
9.6.3. El calorífugo ..... 150
9.6.4. Problema del «cilindro hueco indefinido» ..... 151
9.6.5. Problema de la «esfera hueca» ..... 154
Ejercicios resueltos ..... 156
Ejercicios propuestos ..... 168



## Parte III. En torno a la energía: Termodinámica clásica

Capítulo 10. **Fundamentos de la termodinámica clásica** ..... 177
10.1. Consideraciones introductorias ..... 178
10.1.1. Consideraciones conceptuales ..... 178
10.1.2. Consideraciones históricas ..... 180
10.2. Conceptos primordiales ..... 184
10.2.1. Sistema ..... 184
10.2.2. Estado ..... 187
10.2.3. Proceso ..... 192

Capítulo 11. **Principios de la termodinámica** ..... 197
11.1. Síntesis de la axiomática formal ..... 198
11.2. Primer principio: conservación de la energía ..... 199
11.2.1. Enunciado general del primer principio ..... 199
11.2.2. Aplicaciones generales (a cualquier tipo de sistema) ..... 200
11.2.3. Ley de Joule para los gases ideales. Expansión de un gas sin trabajo mecánico ..... 201
11.2.4. Aplicación del primer principio a los *procesos fundamentales* de un gas ideal ..... 203
11.3. Segundo principio: versión Carnot ..... 206
11.3.1. Máquinas térmicas ..... 206
11.3.2. Máquinas frigoríficas ..... 207
11.3.3. Ciclo de Carnot: rendimiento ..... 208
11.3.4. Ciclo de Carnot inverso: máquina frigorífica ideal ..... 210
11.3.5. Escala termodinámica ..... 211
11.4. Segundo principio: aumento de la entropía ..... 211
11.4.1. Degradación de la energía ..... 211
11.4.2. Variaciones de entropía en procesos reversibles ..... 214
11.4.3. Concepto de entropía ..... 216
11.4.4. Variaciones de entropía en procesos irreversibles ..... 217
11.4.5. Ejemplos elementales de cálculo de variaciones de entropía ..... 218
Ejercicios resueltos ..... 221
Ejercicios propuestos ..... 244

Capítulo 12. **Potenciales termodinámicos** ..... 249
12.1. Generalidades ..... 250
12.2. Evoluciones de sistemas aislados. Entropía ..... 250
12.3. Evoluciones de sistemas cerrados. Entalpía y potenciales de Helmholtz y de Gibbs ..... 250
12.4. Relaciones gráficas complementarias entre las magnitudes energéticas ..... 254
Ejercicios resueltos ..... 255
Ejercicios propuestos ..... 260

Capítulo 13. **CAMBIOS DE FASE** ..... 261
13.1. Cuestiones generales ..... 262
13.1.1. Concepto de fase ..... 262
13.1.2. Concepto de cambio de fase ..... 263
13.1.3. Cambios de «estado de agregación» o cambios de fase de primer orden ..... 263
13.1.4. Cambios de fase de segundo orden ..... 264
13.2. Estudio de las transiciones de primer orden ..... 264
13.2.1. Fusión y solidificación ..... 264
13.2.2. Vaporización y licuefacción ..... 268
13.2.3. Sublimación y condensación ..... 271
13.2.4. Curvas *p-T* de equilibrio de transiciones de fase de primer orden ..... 271
13.3. Regla de las fases ..... 272
13.3.1. Estudio de sistemas heterogéneos. Relación de Gibbs ..... 272
13.4. Ecuación de Clausius-Clapeyron ..... 274
13.4.1. Ecuación de Clausius-Clapeyron para las transiciones de fase de primer orden .. 274
Ejercicios resueltos ..... 276
Ejercicios propuestos ..... 284

Capítulo 14. **MÁQUINAS TÉRMICAS** ..... 287
14.1. Concepción de las máquinas térmicas ..... 288
14.1.1. Definición ..... 288
14.1.2. Descripción elemental ..... 288
14.1.3. Rendimiento ..... 288
14.2. Clasificación de las máquinas térmicas ..... 288
14.3. Máquinas de combustión externa: máquinas y turbinas de vapor ..... 289
14.4. Máquinas de combustión interna: motores de explosión ..... 291
Ejercicios resueltos ..... 293
Ejercicios propuestos ..... 301

Capítulo 15. **REFRIGERACIÓN** ..... 303
15.1. Refrigeración ..... 304
15.2. Máquina frigorífica ideal: ciclo de Carnot inverso ..... 304
15.3. Máquina frigorífica real de refrigeración por compresión ..... 304
15.3.1. Descripción física ..... 304
15.3.2. Descripción del ciclo termodinámico ..... 304
Ejercicios resueltos ..... 307
Ejercicios propuestos ..... 310