

INDICE	
I.- SISTEMAS TERMODINAMICOS	
Introducción a la Termodinámica.- Sistemas macroscópicos	1
Ecuaciones de estado	3
Superficies de estado	4
Coeficientes de dilatación, piezotérmico y compresibilidad	6
Ecuación de estado de un gas perfecto	7
Expresiones matemáticas que definen un gas perfecto	9
Relación entre la unidad de masa y el mol.- Leyes de Dalton y Amagat	10
II.- GASES REALES	
Concepto de gas real	13
Ecuaciones de estado de los gases reales	14
Fluidos condensables	16
Proyecciones de la superficie (p,v,T).- Diagramas de fases	17
Factor de compresibilidad	19
Curva y temperatura de Boyle	20
Otras ecuaciones del comportamiento de los gases reales	21
III.- CORRELACIONES GENERALIZADAS	
Aplicación de la ecuación del virial.- Ecuaciones cuadradas	23
Ecuaciones de estado cúbicas	24
Correlaciones generalizadas para gases	25
Técnicas de iteración	25
Factor acéntrico	26
Método gráfico	29
Método analítico	30
Correlaciones generalizadas para líquidos	31
IV.- CALOR Y TRABAJO	
Naturaleza física del calor.	33
Capacidad calorífica y Calor específico	33-34
Calores específicos de los gases	35
Trabajo de expansión de un gas; casos particulares	37
Trabajo de expansión en sistemas gaseosos; transformaciones reversibles e irreversibles	38
El calor de reacción estándar	39
El calor de formación estándar	40
El calor de combustión estándar	43
V.- PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA	
Introducción al Primer Principio	45
El Primer Principio y los sistemas cerrados	46
Balance de energía de un sistema estacionario	47
Ecuaciones energéticas de un sistema	48
Coeficientes calorimétricos de un sistema homogéneo	49
Transformaciones adiabáticas	51
Teorema de Reech	51
Transformaciones politrópicas; índice de politropía	52
Transformaciones a volumen constante	53

Transformaciones a presión constante; concepto de entalpía	53
Transformaciones isotérmicas	54
Trabajo de rozamiento	54
VI.- APLICACIONES DEL PRIMER PRINCIPIO A SISTEMAS ABIERTOS	
Energía de una corriente fluida	57
Energía almacenada en un sistema abierto	58
Balance energético de un sistema aislado	58
Ecuación energética de un fluido en régimen estacionario	59
Procesos de calentamiento y enfriamiento	61
Procesos en tubos aislados, toberas y difusores	61
Turbinas y compresores	62
Efecto Joule Kelvin; líneas isoentálpicas y curva de inversión	62
Ecuación de Bernoulli	65
Formulación de Saint.-Venant	66
Formulación de Torricelli	66
Formulación de Navier para expansión isoterma	66
Formulación de Weisbach y Grashoff	66
Formulación de Zeuner	66
Flujos no estacionarios	67
VII.- SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA	
Introducción	69
Transformaciones monoterms	70
Transformaciones cíclicas con dos fuentes térmicas	71
Ciclo de Carnot	72
Función entropía.- Teorema de Clausius	75
Variación de la entropía en procesos reversibles	77
Entropía de una mezcla de gases ideales	78
Diagrama entrópico; aplicaciones	80
Ciclo de Carnot en el diagrama entrópico	82
Aprovechamiento de un salto térmico; ciclos con irreversibilidades térmicas externas; ciclo de Carnot	93
Energía utilizable en las transformaciones cíclicas	84
Ciclos con irreversibilidades internas	85
VIII.- LEYES DEL EQUILIBRIO DE LAS TRANSFORMACIONES REALES	
Sistemas térmicamente aislados	85
Sistemas a temperatura y volumen constantes	85
Sistemas a presión y temperatura constantes	86
Trabajo técnico	88
Ecuaciones de Maxwell	90
Potencial químico	91
Ecuación de Clausius.-Clapeyron	93
Cambios de fase de Primer Orden	94
Cambios de fase de Segundo Orden; ecuaciones de Ehrenfest	96
Aplicaciones conjuntas de los dos Primeros Principios Termodinámicos	97
IX.- RENDIMIENTO Y EXERGÍA	
Rendimiento	99
Coeficiente de calidad, rendimiento mecánico y total	99
Determinación del coeficiente de calidad mediante el diagrama entrópico	100
Potencia indicada, potencia útil, consumo de combustible y coste de la energía producida	102
Concepto de Exergía	203
Concepto de medio ambiente	203

Concepto de estado muerto	204
Cálculo de la exergía	204
Balance de exergía para sistemas cerrados	106
Transferencia de exergía	108
Exergía de flujo	109
Balance de exergía en un volumen de control	111
Eficiencia exergética en turbinas	112
Eficiencia exergética en bombas y compresores	113
Eficiencia exergética en intercambiadores de calor de superficie	113
Eficiencia exergética en intercambiadores de calor de mezcla	114
X.- FLUJO COMPRESIBLE	
Relaciones entre el coeficiente adiabático y la velocidad del sonido en un fluido compresible	115
Formulación de Hugoniot	117
Derrame por toberas	118
Condiciones críticas	120
Estudio de una corriente fluida en una tobera Laval	121
Método gráfico de Kolb	124
Flujo isoentrópico de un gas perfecto	125
Onda de choque normal	127
Onda de choque normal en conductos	128
Líneas de Rayleigh y Fanno	129
Otras expresiones de las líneas de Rayleigh y Fanno, en coordenadas (i-s)	131
Línea de Fanno	135
Línea de Rayleigh	134
Flujo adiabático en conductos de sección constante, con rozamiento	135
Bloqueo debido a la fricción	138
Flujo sin rozamiento por el interior de conductos con transferencia de calor	139
Flujo isoterma permanente en tuberías largas	141
Tablas	143
XI.- CICLOS DE MAQUINAS TERMICAS QUE FUNCIONAN CON GAS	
Ciclo de Carnot	159
Ciclos de igual rendimiento al de Carnot	159
Ciclo Stirling	159
Ciclo Ericsson	162
Ciclos de turbinas de gas	165
Turbina de combustión interna; ciclo de Atkinson	165
Turbina de combustión interna; ciclo Brayton	166
Ciclo Otto.-Beau de Rochas de aire estándar	170
Motor de 2 tiempos	170
Trabajo de compresión	172
Trabajo de expansión	173
Par motor	173
Temperatura y presión alcanzados por la combustión	174
Ciclo Diesel de aire estándar	175
Ciclo Semidiesel.-Sabathe	176
Anexo XI.A.- Gasolinas	179
XII.- PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS FLUIDOS CONDENSABLES	
Estudio de los fluidos condensables	183
Estudio calorimétrico del vapor de agua	185
Diagrama de Izart	187
Diagrama de Mollier	190

XIII.- CICLOS DE MAQUINAS TERMICAS	
Introducción y clasificación de las máquinas térmicas	191
Ciclo de Carnot	192
Ciclo Rankine; irreversibilidades	293
Ciclo Rankine con sobrecalentamiento y recalentamiento	195
Ciclos de regeneración	198
Temperaturas óptimas de extracción	202
Ciclos binarios	204
Expansión en cilindros de trabajo	206
Ciclos Compound	208
XIV.- CICLOS DE REFRIGERACION POR COMPRESION	
Técnicas y sistemas de producción de frío	211
Clasificación	212
Coeficientes de efecto frigorífico	213
Máquinas frigoríficas de aire; ciclo teórico	215
Ciclos reales	216
Ciclo de gas con regenerador	218
Ciclo de Carnot de un fluido condensable	219
Máquinas frigoríficas de fluidos condensables.- Ciclos con expansión isentálpica	219
Compresión en régimen húmedo	219
Compresión en régimen seco	220
Sistemas de multicompresión con refrigeración intermedia	222
Compresión múltiple directa	222
Formas de obtener el enfriamiento intermedio	223
Refrigeración intermedia exterior	223
Inyección parcial de fluido frigorígeno	223
Inyección directa de fluido frigorígeno	224
Sistemas de doble compresión y expansión con enfriador intermedio y separador de líquido	224
Enfriador intermedio de tipo cerrado con ciclo de inyección parcial	224
Enfriador intermedio de tipo abierto con ciclo de inyección total	225
Compresores	226
Sistemas de compresión múltiple indirecta; refrigeración en cascada	227
Expansión múltiple	228
Compresión simple	228
Compresión doble directa	229
Ciclos con doble laminación; separador de líquido y refrigeración exterior	231
Ciclo con doble laminación y barboteo y refrigeración exterior	232
Principio de funcionamiento de la bomba de calor	234
Producción simultánea de frío y de calor	235
Bomba de calor asistida por colectores solares	238
XV.- CICLOS DE MAQUINAS FRIGORIFICAS NO CONVENCIONALES	
Máquinas frigoríficas de eyector	241
Frigoríficos de absorción	242
Frigorífico Servel.-Electrolux	246
Refrigeración solar por absorción	248
Bomba de calor por absorción	250
XVI.- CRIOGENIA	
El fenómeno de la estrangulación	253
Curvas y coeficiente de inversión	254
Determinación del calor específico a presión constante de un gas	357
Aplicación del efecto Joule.-Kelvin a la ecuación de Van der Waals	258

Licuación de gases	261
Licuación del aire por el método Linde	265
Proceso Linde con presión intermedia supercrítica	270
Proceso Linde con presión intermedia subcrítica	273
Licuación por el método Claude	276
ANEXO A.- Tratamiento industrial del aire (Antecedentes históricos)	278

## XVII.- CICLOS DE AIRE ACONDICIONADO

Introducción	305
Condiciones de ventilación	307
Aire húmedo	308
Punto de rocío	309
Humedad relativa	309
Tablas de propiedades termodinámicas del aire	311
Humedad específica	312
Grado de saturación	312
Entalpía del aire	313
Entalpía del aire húmedo y del aire seco	313
Entalpía del aire por debajo del punto de rocío, y del punto de congelación	314
Peso del aire seco y del aire húmedo	314
Psicrómetros	314
Diagrama de Mollier del aire húmedo	315
Mezcla de dos corrientes de aire en régimen permanente	319
Proceso de saturación adiabática	320
Mezcla adiabática	322
Transformaciones del aire húmedo	323
Procesos de acondicionamiento de aire	323
Carga térmica de un local	324
Calentamiento y refrigeración del aire sin variación de la humedad específica	325
Enfriamiento con deshumidificación	326
Deshumidificación con calentamiento	327
Enfriamiento por evaporación	328
Calentamiento con humidificación	329
Torres de enfriamiento	330
Equipos de aire acondicionado	331
Instalaciones de aire acondicionado	332
Cálculo de instalaciones	332
Acondicionamiento de aire en invierno sin recirculación	333
Acondicionamiento de aire en invierno con recirculación	335
Acondicionamiento de aire en verano sin recirculación	336
Acondicionamiento de aire en verano con recirculación	336

## XVIII.- COMBUSTION

Introducción	343
Balances de materia en las combustiones completas; reacciones químicas	344
Características de los combustibles	345
Calores de reacción y potencia calorífica	346
Combustión estequiométrica	346
Cálculo del poder comburívoro	346
Volumen de aire mínimo por Kg de combustible	347
Cálculo del poder fumígeno	348
Formulación empírica	350
Combustión con exceso o con defecto de aire	350
Coeficiente de exceso de aire	350
Volumen total de los gases de combustión	352
Diagrama de Ostwald	352

Estudio de las isolíneas del Diagrama de Ostwald	354
Utilización del diagrama de Ostwald	356
Construcción del diagrama de Ostwald	357
Anexo, Problemas	361
Tablas y diagramas	371
Bibliografía	401
INDICE	403