

1. Universidad de Salamanca (España). Biblioteca General. La ciencia y la técnica en la época de Cervantes. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca: Centro de Investigaciones Lingüísticas, 2005. 145p. ISBN84-7800-503-x

Signatura: IB/5/6(460)"16" UNI cie (Lectura)



[Índice](#)

2. Jesús Hernández Galán... (et al.). Accesibilidad universal y diseño para todos. [Madrid]: Fundación ONCE: Fundación Arquitectura COAM, 2011. 267p. ISBN-978-84-88934-47-5

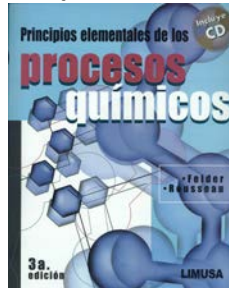
Signatura: IB/72:376 ACC smo



[Índice](#)

3. Richard M. Felder, Ronald W. Rousseau. Principios elementales de los procesos químicos. México: Limusa Wiley, cop. 2005. 681p. ISBN-968-18-6169-8

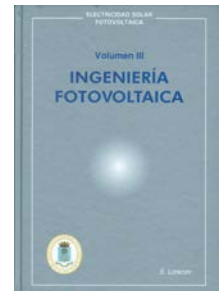
Signatura: IB/ 66.01 FEL pri



[Índice](#)

4. Lorenzo, Eduardo. Electricidad solar fotovoltaica. Vol. 3. Mairena de Aljarafe (Sevilla): PROGENSA, 2014. 297 p. ISBN-978-84-95693-32-7

Signatura: IB/620.9 LOR ele



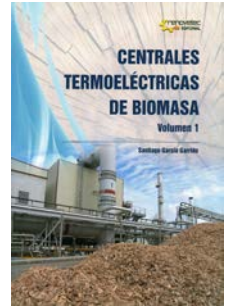
[Índice](#)

5. Fernando E. Valdés Pérez, Ramón Pallàs Areny. Microcontroladores: fundamentos y aplicaciones con PIC. [Barcelona]: Marcombo, cop. 2007. 340p. ISBN- 84-267-1414-5
Signatura: IB/681.5 VAL mic



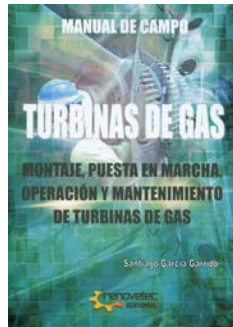
[Índice](#)

6. Santiago García Garrido. Centrales termoeléctricas de biomasa. [Madrid]: Renovetec, D.L. 2014. ISBN-978-84-616-1557-5
Signatura: IB/620.9 GAR cen



[Índice](#)

7. Santiago García Garrido. Turbinas de gas: montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento. [Madrid]: Renovetec, D.L. 2014. 369p. ISBN-978-84-617-0450-7
Signatura: IB/621.4 GAR tur



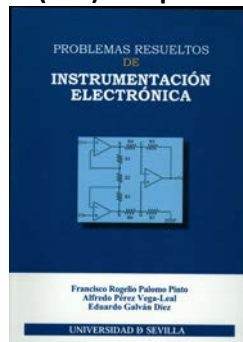
[Índice](#)

8. Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. Fundamentos de termodinámica técnica. Barcelona: Reverté, cop. 2016. 872p. ISBN-978-84-291-4379-9.
Signatura: IB/536.7 MOR fun (2 ed.)



[Índice](#)

9. Francisco Rogelio Palomo Pinto, Alfredo Pérez Vega-Leal, Eduardo Galván Díez. Problemas resueltos de instrumentación electrónica. Sevilla: Secretariado de Publicaciones, Universidad de Sevilla, 2006|g(2011). 369p. ISBN-978-84-472-1061-9
Signatura: IB/621.38(076) PAL pro



[Índice](#)

ÍNDICE

PRÓLOGO

Enrique Battaner Arias.....	9
Rector de la Universidad de Salamanca	

TEXTOS

Presentación de la exposición. <i>Margarita Becedas González</i>	11
Directora de la Biblioteca General Universitaria de Salamanca	
<i>M.^a Jesús Mancho Duque</i> . La divulgación científica y técnica en castellano en la época de Cervantes.	17
<i>Cirilo Flórez Miguel</i> . Las artes mecánicas en la época de Cervantes.....	51

ÍNDICE DE AUTORES, TRADUCTORES Y TÍTULOS DE OBRAS ANÓNIMAS	61
--	----

CATÁLOGO

Del Cielo y la Tierra:	63
Astronomía, Cosmografía y Geografía (1-11)	65
Náutica y Construcción naval (12-21)	76
Ciencias naturales y sus aplicaciones:	87
Zoología y Albeitería (22-25)	89
Botánica, usos farmacéuticos y Agricultura (26-31)	93
Beneficio de minerales y ensayo de metales (32-36)	99
La Naturaleza humana:	105
Medicina, Anatomía y Cirugía (37-41).....	107
Medicina popular y usos domésticos (42-47).....	112
De la Ciencia exacta a las Artes de precisión:	119
Matemáticas, Aritmética y Geometría (48-52)	121
Comercio, Aritmética práctica y Cálculo mercantil (53-59)	126
Arquitectura (60-65).....	133
Arte militar, Artillería y Fortificación (66-72).....	139

Índice

- 10** **Introducción**
Jesús Hernández Galán
Director de Accesibilidad Universal – Fundación ONCE
Dr. Ingeniero de Montes
- Capítulo 1
- 22** **Capacidad, funcionamiento y uso del entorno construido**
Fefa Álvarez Ilzarbe
Lda. Farmacia
Jefa Área Accesibilidad al medio físico - Fundación ONCE
- Capítulo 2
- 36** **Diseño de sistemas de orientación espacial: wayfinding**
Dimas García Moreno
Diseñador Gráfico
- Capítulo 3
- 58** **Diseño urbanístico para todas las personas**
Pedro López Pereda
Arquitecto
VIA LIBRE/Grupo Fundosa
Jose Luis Borau Jordán
Arquitecto
Dirección de Accesibilidad Universal - Fundación ONCE
- Capítulo 4
- 82** **Diseño arquitectónico para todas las personas**
Pedro López Pereda
Arquitecto
VIA LIBRE - Grupo Fundosa
Jose Luis Borau Jordán
Arquitecto
Dirección de Accesibilidad Universal - Fundación ONCE
- Capítulo 5
- 106** **Productos de apoyo a la edificación**
M^a Carmen Fernández Hernández
Arquitecto Técnico
Dirección de Accesibilidad Universal - Fundación ONCE

122	Capítulo 6 Diseño para todas las personas en entornos naturales protegidos Jose Luis Borau Jordán Arquitecto <i>Dirección de Accesibilidad Universal - Fundación ONCE</i>
140	Capítulo 7 Accesibilidad al patrimonio histórico protegido Consuelo del Moral Ávila <i>Dra. Arquitecta</i> Luís Delgado Méndez <i>Arquitecto</i>
164	Capítulo 8 Diseño de transporte accesible José Antonio Juncà Ubierna <i>Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos</i> <i>Director General de Sociedad y Técnica, SOCYTEC, SL</i>
202	Capítulo 9 Gestión de la accesibilidad universal Juan Novillo Höpfner <i>AENOR</i>
218	Capítulo 10 Importancia del diseño para todos en la prevención de riesgos Pablo Orofino Vega <i>Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)</i>
234	Capítulo 11 Nuevo marco legislativo de la accesibilidad en España Luis Cayo Pérez Bueno <i>Presidente del CERMI Estatal</i> <i>(Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad)</i>
244	Capítulo 12 Aplicación práctica. Propuestas de alumnos Jose Luis Borau Jordán Arquitecto <i>Dirección de Accesibilidad Universal – Fundación ONCE</i>
260	BIBLIOGRAFÍA

Contenido

Prefacio de la primera edición ix

Prefacio de la tercera edición xi

Unas palabras al profesor xiii

Principios interactivos de los procesos químicos xv

Nomenclatura xvii

Glosario de términos de los procesos químicos xxi

PARTE 1 ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DE INGENIERÍA 1

Capítulo 1 La labor que desempeñan algunos ingenieros químicos 3

Capítulo 2 Introducción a los cálculos de ingeniería 7

- 2.0 Objetivos de aprendizaje 7
- 2.1 Unidades y dimensiones 8
- 2.2 Conversión de unidades 9
- 2.3 Sistemas de unidades 10
- 2.4 Fuerza y peso 12
- 2.5 Cálculos y estimados numéricos 13
- 2.6 Homogeneidad dimensional y cantidades adimensionales 20
- 2.7 Representación y análisis de los datos de proceso 22
- 2.8 Resumen 30
- Problemas 31

Capítulo 3 Procesos y variables de procesos 43

- 3.0 Objetivos de aprendizaje 43
- 3.1 Masa y volumen 44
- 3.2 Velocidad de flujo 46
- 3.3 Composición química 48
- 3.4 Presión 55
- 3.5 Temperatura 61
- 3.6 Resumen 64
- Problemas 66

PARTE 2 BALANCES DE MATERIA 81**Capítulo 4****Fundamentos de los balances de materia 83**

- 4.0 Objetivos de aprendizaje 83
- 4.1 Clasificación de los procesos 84
- 4.2 Balances 85
- 4.3 Cálculos de balances de materia 89
- 4.4 Balances en procesos de unidades múltiples 104
- 4.5 Recirculación y derivación (*bypass*) 110
- 4.6 Estequiometría de las reacciones químicas 116
- 4.7 Balances de procesos reactivos 125
- 4.8 Reacciones de combustión 142
- 4.9 Algunas consideraciones adicionales sobre los procesos químicos 151
- 4.10 Resumen 153
- Problemas 155

Capítulo 5**Sistemas unifásicos 187**

- 5.0 Objetivos de aprendizaje 188
- 5.1 Densidades de líquidos y sólidos 189
- 5.2 Gases ideales 191
- 5.3 Ecuaciones de estado para gases no ideales 199
- 5.4 Ecuación de estado del factor de compresibilidad 206
- 5.5 Resumen 213
- Problemas 214

Capítulo 6**Sistemas multifásicos 237**

- 6.0 Objetivos de aprendizaje 239
- 6.1 Equilibrio de fases en un sistema de un solo componente 240
- 6.2 La regla de las fases de Gibbs 247
- 6.3 Sistemas gas-líquido: un componente condensable 249
- 6.4 Sistemas multicomponentes gas-líquido 255
- 6.5 Soluciones de sólidos en líquidos 264
- 6.6 Equilibrio entre dos fases líquidas 271
- 6.7 Adsorción en superficies sólidas 275
- 6.8 Resumen 278
- Problemas 280

PARTE 3 BALANCES DE ENERGÍA 311**Capítulo 7****Energía y balances de energía 313**

- 7.0 Objetivos de aprendizaje 314
- 7.1 Formas de energía: la primera ley de la termodinámica 315
- 7.2 Energías cinética y potencial 317
- 7.3 Balances de energía en sistemas cerrados 318

7.4	Balances de energía en sistemas abiertos en estado estacionario	320
7.5	Tablas de datos termodinámicos	325
7.6	Procedimientos para el balance de energía	329
7.7	Balances de energía mecánica	333
7.8	Resumen	337
	Problemas	340

Capítulo 8

Balances en procesos no reactivos 357

8.0	Objetivos de aprendizaje	357
8.1	Elementos de los cálculos de balance de energía	358
8.2	Cambios de presión a temperatura constante	365
8.3	Cambios de temperatura	366
8.4	Operaciones con cambio de fase	377
8.5	Mezclas y soluciones	395
8.6	Resumen	406
	Problemas	409

Capítulo 9

Balances en procesos reactivos 441

9.0	Objetivos de aprendizaje	442
9.1	Calores de reacción	443
9.2	Medición y cálculo de los calores de reacción: ley de Hess	446
9.3	Reacciones de formación y calores de formación	448
9.4	Calores de combustión	449
9.5	Balances de energía en procesos reactivos	451
9.6	Combustibles y combustión	465
9.7	Resumen	474
	Problemas	476

Capítulo 10

Cálculo de balances con ayuda de la computadora 505

10.0	Objetivos de aprendizaje	505
10.1	Repaso del análisis de grados de libertad	505
10.2	Simulación modular secuencial	512
10.3	Simulación basada en ecuaciones	523
10.4	Paquetes comerciales para simulación de procesos	534
10.5	Consideraciones finales	534
	Problemas	535

Capítulo 11

Balances de procesos transitorios 545

11.0	Objetivos de aprendizaje	545
11.1	La ecuación general de balance... de nuevo	546
11.2	Balances de materia	550
11.3	Balances de energía para procesos no reactivos de una sola fase	556
11.4	Balances transitorios simultáneos	562
11.5	Resumen	565
	Problemas	566

PARTE 4

CASOS DE ESTUDIO 579

Capítulo 12

Producción de cloruro de polivinilo clorado 581

Química de la reacción de cloración del PVC 582

Descripción del proceso 583

Problemas 586

Capítulo 13

Reformación por vapor del gas natural y síntesis subsecuente de metanol 593

Descripción del proceso 594

Problemas 597

Capítulo 14

Uso del lodo de piedra caliza en el lavado para separar el dióxido de azufre de los gases de combustión en plantas de energía 605

Descripción del proceso 606

Problemas 608

Apéndice A

Técnicas computacionales 611

A.1 El método de los mínimos cuadrados 611

A.2 Solución iterativa de ecuaciones algebraicas no lineales 614

A.3 Integración numérica 626

Apéndice B

Tablas de propiedades físicas 631

B.1 Datos selectos de propiedades físicas 632

B.2 Capacidades caloríficas 639

B.3 Presión de vapor del agua 642

B.4 Constantes de la ecuación de Antoine 644

B.5 Propiedades del vapor saturado: tabla de temperaturas 646

B.6 Propiedades del vapor saturado: tabla de presiones 648

B.7 Propiedades del vapor sobrecalentado 654

B.8 Entalpías específicas de gases selectos: unidades SI 656

B.9 Entalpías específicas de gases selectos: unidades del Sistema Americano de Ingeniería 656

B.10 Capacidades caloríficas atómicas para la regla de Kopp 657

B.11 Calores integrales de solución y mezcla a 25°C 657

Respuestas a las autoevaluaciones 659

Respuestas a problemas seleccionados 669

Índice 673

Índice

<i>Prefacio</i> , por Javier Muñoz	11
<i>Prólogo del autor</i>	15
<i>Nomenclatura</i>	21
1 Los materiales	29
1.1 Introducción	29
1.2 Aplicaciones fotovoltaicas	30
1.2.1 Aplicaciones aisladas	30
1.2.2 Conexión a red	33
1.3 Módulos y generadores fotovoltaicos	35
1.3.1 La curva $I-V$	37
1.3.2 Características en flash y a sol real	39
1.3.3 Normas y fiabilidad	44
1.3.4 De las CEM a las condiciones reales de operación	45
1.4 Inversores	48
1.4.1 Puente en H y modulación unipolar	48
1.4.2 Inversores con y sin transformador	51
1.4.3 Inversores para centrales conectadas a la red de media tensión	52
1.4.4 Inversores inteligentes	54
1.4.5 Eficiencia en potencia y eficiencia energética	56
1.4.6 Tamaño relativo de generadores e inversores	58
1.4.7 Inversores para aplicaciones aisladas	59
1.5 Baterías	59
1.5.1 Funcionamiento y fenómenos espurios	60
1.5.2 Baterías para aplicaciones aisladas	62
1.5.3 Estado de carga, densidad y voltaje	63
1.5.4 Eficiencia	65
1.5.5 Baterías para conexión a red	65
1.6 Reguladores de carga	65
1.7 Luminarias	67
1.8 Bombas de agua	69
1.9 Radiación solar	70
1.9.1 Radiación extra-atmosférica	70
1.9.2 Radiación terrestre: componentes, índice de claridad y fracción de difusa	72
1.9.3 Masa de aire y espectro	73
1.9.4 Cielos despejados y nublados	75

1.9.5 Bases de datos de radiación horizontal	75
1.9.6 Perfiles de irradiancia	78
1.9.7 Radiación incidente sobre los generadores	79
1.10 El coste del kWh fotovoltaico	80
 2 Seguridad eléctrica y fiabilidad	
2.1 Introducción	83
2.2 Accidentes y riesgos	85
2.3 Contactos directo e indirecto	86
2.3.1 Choque eléctrico y límites de seguridad	87
2.3.2 Resistencia de aislamiento de un generador fotovoltaico	88
2.3.3 Fallos de aislamiento	90
2.3.4 Muy baja tensión	92
2.3.5 Aislamiento reforzado, o de clase II	94
2.3.6 Puesta a tierra de las masas	95
2.3.7 Configuración flotante	97
2.3.7.1 Vigilancia de aislamiento	99
2.3.7.2 A vueltas con la resistencia de aislamiento de los generadores	101
2.3.7.3 Reacciones frente al fallo de aislamiento	104
2.3.7.4 Eliminación automática de la tensión	106
2.3.7.5 Avisos	106
2.3.7.6 La capacidad parásita	107
2.3.8 Configuraciones puestas a tierra	108
2.3.8.1 TT y TN	108
2.3.8.2 Dónde hacer la puesta a tierra	110
2.3.8.3 Detección del fallo de aislamiento	111
2.3.9 Cuando el inversor no tiene aislamiento galvánico	111
2.3.10 La cuestión de la unicidad de la tierra	114
2.4 Sobrecorrientes	116
2.4.1 Cables, secciones y caídas de tensión	116
2.4.2 Cortocircuitos, cables, módulos fotovoltaicos y fusibles	117
2.4.3 Cadenas de fusibles	120
2.4.4 Cuando hay baterías	122
2.5 Sobretensiones	123
2.5.1 Nubes, rayos y truenos	126
2.5.2 Acoplamiento galvánico	127
2.5.2.1 Pararrayos: ¿sí o no?	127
2.5.3 Acoplamiento inductivo	128
2.5.3.1 Descargadores de sobretensiones	130

2.5.3.2	Instalación de descargadores	132
2.5.3.3	Cuando las masas no son accesibles	134
2.5.3.4	Cuando hay pararrayos	135
2.5.3.5	Sistemas fotovoltaicos para electrificación rural	135
2.5.4	Acoplamiento capacitivo	136
2.6	Maniobra	137
2.6.1	Interruptores DC	137
2.6.2	Cadenas de interruptores	140
2.7	Puntos y células calientes	141
2.7.1	En presencia de sombras	141
2.7.2	Con suciedad	144
2.7.3	En cortocircuito	146
2.7.4	Por defectos de fabricación	148
2.7.5	Grietas y electroluminiscencia, soldaduras defectuosas	151
2.7.6	Temperatura y tensión de operación	152
2.7.7	Enfrentando el problema	154
2.8	Interacciones con la red eléctrica	155
2.8.1	Protecciones frente a disturbios en la red	157
2.8.1.1	Funcionamiento en isla	157
2.8.1.2	Frecuencia o tensión fuera de rango	158
2.8.2	Ayudando a la normalidad	158
2.8.2.1	Huecos de tensión	158
2.8.2.2	Control de frecuencia	159
2.8.2.3	Control de tensión	160
2.8.2.4	Capacidad de acogida fotovoltaica	163
2.8.3	Fluctuaciones de potencia	165
3	Producción y dimensionado	169
3.1	Introducción	169
3.2	Posición del Sol	170
3.3	Posición de la superficie receptora y ángulo de incidencia	172
3.3.1	Superficies estáticas	172
3.3.2	Superficies que siguen al Sol	172
3.3.2.1	En un eje vertical, o azimutal	173
3.3.2.2	En un eje horizontal	174
3.3.2.3	En un eje inclinado	175
3.3.2.4	En un eje polar	177
3.3.2.5	En un eje desorientado	177
3.3.2.6	En un eje inclinado y desorientado	177
3.3.2.7	En dos ejes	178

3.4 Sombras y retroseguimiento	178
3.4.1 Con generadores estáticos	179
3.4.1.1 Bien orientados al Sur	179
3.4.1.2 Desorientados	180
3.4.1.3 Desorientados e inclinados	181
3.4.2 Con seguimiento	181
3.4.2.1 En un eje horizontal	182
3.4.2.2 En un eje inclinado o desorientado	183
3.4.2.3 En un eje vertical	183
3.4.2.4 En dos ejes, con el principal vertical	189
3.4.2.5 En dos ejes, con el principal horizontal	189
3.4.3 Otras disposiciones	192
3.4.3.1 Cubiertas desorientadas	192
3.4.3.2 Fachadas	193
3.4.3.3 Seguidores en persiana	194
3.5 Sombra geométrica y sombra eficaz	195
3.5.1 Algunos experimentos con sombras	198
3.5.2 Sombras y producción energética	202
3.6 Perfiles de irradiancia	203
3.6.1 Modelo de cielo medio	203
3.6.2 Modelo de cielo despejado y cielo nublado	204
3.6.3 Otros modelos	207
3.7 Simulación del comportamiento energético con IESPRO	207
3.7.1 Principio de funcionamiento	208
3.7.2 Datos de entrada, modelos, escenarios de pérdidas y resultados	211
3.8 Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos	214
3.8.1 Sistemas autónomos con baterías	214
3.8.2 Sistemas para bombear agua	217
 4 Diseños representativos	
4.1 Introducción	221
4.2 Datos del lugar	221
4.3 Central conectada a red y sobre suelo	222
4.3.1 Elección de equipos y constitución del generador	222
4.3.2 Generadores estáticos: ángulo de inclinación y separación	225
4.3.3 Desviaciones de la orientación	227
4.3.4 Seguidores versus generadores estáticos	228
4.3.5 El tamaño relativo del generador y del inversor	229
4.4 Generadores fotovoltaicos sobre tejados	230

4.4.1	Con las aguas orientadas al Este y al Oeste	231
4.4.2	Con las aguas orientadas al Norte y al Sur	233
4.4.3	Con las aguas orientadas al Suroeste y al Nordeste	234
4.5	Generadores fotovoltaicos sobre fachadas	235
4.5.1	El valor añadido del sombreado	236
4.6	Sistema autónomo con batería	237
4.6.1	Elección de equipos	237
4.6.2	Inclinación del generador	238
4.6.3	Dimensionado	240
4.6.4	Comentario	241
4.7	Bombeo de agua	242
4.7.1	Elección de equipos	242
4.7.2	Inclinación del generador	243
4.7.3	Dimensionado	244
4.8	Diseños para latitudes bajas	246
4.8.1	Datos del lugar	246
4.8.2	Radiación solar más homogénea	246
4.8.3	Generadores más compactos y menos inclinados	247
4.8.4	Seguidores, mejor de eje horizontal	249
4.8.5	Cubiertas y fachadas	250
4.8.6	Sistemas autónomos más pequeños	250
4.8.7	Sistemas de bombeo algo más grandes	251
5	Caracterización, evaluación y control de calidad	253
5.1	Introducción	253
5.2	Medida de las condiciones ambientales y de operación	254
5.2.1	Piranómetros	254
5.2.2	Células de referencia	256
5.2.3	Módulos de referencia	256
5.2.4	Observaciones satelitales	260
5.2.5	Termómetros y anemómetros	262
5.2.6	Algunos ejemplos reales	262
5.2.6.1	Caso 1: Piranómetros y radiación horizontal	262
5.2.6.2	Caso 2: Células de referencia y radiación horizontal	263
5.2.6.3	Caso 3: Células de referencia y radiación horizontal e inclinada	264
5.2.6.4	Caso 4: Termopares, módulos de referencia y temperatura de célula	265
5.3	Caracterización de generadores	266
5.3.1	Trazadores de curvas $I-V$	266
5.3.2	Vatímetros y contadores	269

5.4 Caracterización de inversores	272
5.5 Evaluación de sistemas conectados a la red	272
5.5.1 A la búsqueda de lo más fácil	273
5.5.2 A la búsqueda de lo más cierto	274
5.5.2.1 Pérdidas por temperatura	275
5.5.2.2 Pérdidas por baja irradiancia	275
5.5.2.3 Pérdidas por sombreado	276
5.5.2.4 Pérdidas por conversión DC/AC	277
5.5.2.5 Pérdidas por saturación de inversores	277
5.5.2.6 Pérdidas por conversión BT/MT	278
5.5.2.7 Pérdidas en el cableado	278
5.5.2.8 Diagramas de Sankey	279
5.5.2.9 Ejemplo	280
5.5.3 Índices de calidad: PR , PR_{CEM} y PI	281
5.5.4 Comprobación y coherencia de datos	283
5.5.4.1 Estimación de NOTC	283
5.5.4.2 Estimación de la ganancia de irradiación	284
5.5.5 Anomalías y disponibilidad	285
5.6 Control de calidad	286
5.6.1 Fundamentos	287
5.6.1.1 Respuesta en potencia	287
5.6.1.2 Sistema ideal y sistema real	287
5.6.1.3 Limpieza de los generadores	289
5.6.1.4 Escenarios de pérdidas	289
5.6.2 Estimación de la producción energética anual	291
5.6.3 Ensayos de recepción provisional	292
5.6.4 Ensayos de recepción final	293
5.6.5 Garantías de producción	294
5.6.6 Informes diarios, mensuales y anuales	294

Índice general

Prólogo	9
1 Introducción a los microcontroladores	11
1.1 Microprocesadores y microcontroladores: caracterización	11
1.2 Componentes de un microcontrolador	14
1.2.1 El perro guardián	17
1.2.2 Reset	18
1.2.3 Bajo consumo	19
1.2.4 Protección del programa frente a copias	21
1.3 Arquitecturas von Neumann y Harvard	21
1.4 Arquitecturas CISC y RISC	24
1.5 Microcontroladores, microprocesadores y sus fabricantes	24
2 Los microcontroladores PIC	29
2.1 Características generales de los microcontroladores PIC	29
2.1.1 La Unidad Aritmética y Lógica y el registro W en los microcontroladores PIC	30
2.1.2 Ciclos de máquina y ejecución de instrucciones	31
2.1.3 Segmentado (pipeline) en la ejecución de instrucciones	33
2.1.4 Osciladores	34
2.1.5 Bits de configuración	36
2.1.6 Fuentes de reset	38
2.1.7 Modo de bajo consumo	42
2.1.8 Perro guardián	43
2.2 Familias de microcontroladores PIC	45
2.2.1 Microcontroladores de gama baja	45
2.2.2 Microcontroladores de gama media	47
2.2.3 Microcontroladores de gama alta	51
3 La memoria en los microcontroladores	55
3.1 Conceptos básicos	55
3.1.1 Organización lógica de la memoria	56
3.1.2 Tipos de memorias	58
3.2 La memoria en los microcontroladores PIC de gama media	61
3.2.1 La memoria de programa	62
3.2.1.1 Direccionamiento de la memoria de programa	62
3.2.1.2 Lectura y escritura de la memoria de programa	64

3.2.2	La memoria RAM de datos.....	68
3.2.2.1	Direccionamiento de la memoria de datos.....	70
3.2.2.2	Registros de funciones especiales.....	72
3.2.3	La memoria EEPROM de datos.....	75
4	Repertorio de instrucciones y programación en lenguaje ensamblador	79
4.1	Conceptos básicos	79
4.1.1	Código de máquina y lenguaje ensamblador.....	79
4.1.2	Estructura de las instrucciones.....	82
4.1.3	Modos de direccionar los datos.....	84
4.1.4	La pila.....	85
4.2	Repertorio de instrucciones de los PIC de gama media.....	88
4.2.1	Instrucciones de transferencia de datos.....	91
4.2.2	Instrucciones aritméticas y lógicas.....	92
4.2.3	Instrucciones de transferencia de control.....	95
4.2.3.1	Salto incondicionales, llamadas a subrutinas y retornos.....	95
4.2.3.2	Salto condicionados.....	99
4.2.4	Instrucciones que operan con bits.....	102
4.2.5	Otras instrucciones.....	103
4.3	Elementos del lenguaje ensamblador (para el ensamblador MPASM de Microchip).....	103
4.3.1	Introducción.....	103
4.3.2	Expresiones, operaciones y operadores.....	109
4.3.2.1	Operadores aritméticos.....	110
4.3.2.2	Operadores lógicos y de relación.....	111
4.3.2.3	Operadores lógicos que operan directamente con bits.....	112
4.3.2.4	Operadores de asignación.....	112
4.3.2.5	Operadores de dirección.....	114
4.3.3	Directivas.....	114
4.3.3.1	Directivas de uso general.....	116
4.3.3.2	Directivas utilizadas en la codificación relocizable.....	121
4.3.4	Macroinstrucciones.....	127
4.3.5	Organización de un programa en lenguaje ensamblador.....	130
4.4	Recursos disponibles para programar en el lenguaje ensamblador de los microcontroladores PIC	136
4.4.1	El ensamblador MPASM.....	137
4.4.1.1	Generación de código absoluto.....	137
4.4.1.2	Generación de código relocizable.....	138
4.4.1.3	Archivos involucrados en el ensamblaje.....	139
4.4.2	El enlazador MPLINK.....	142
4.4.3	El gestor de bibliotecas MPLIB.....	145
5	La entrada y salida en paralelo.	149
5.1	Conceptos básicos sobre entradas y salidas digitales	149
5.1.1	Métodos de transferencia de datos.....	150
5.1.2	Técnicas de entrada y salida.....	153

5.2	Los puertos paralelos en los PIC de clase media	155
5.2.1	<i>El puerto A</i>	158
5.2.2	<i>El puerto B.....</i>	159
5.2.3	<i>El puerto C.....</i>	161
5.2.4	<i>Los puertos D, E, F y G</i>	161
5.2.5	<i>El Puerto Paralelo Esclavo.....</i>	162
5.3	Conexión y tratamiento a periféricos comunes	164
5.3.1	<i>Interruptores y diodos LED.....</i>	164
5.3.2	<i>Teclados matriciales</i>	169
5.3.3	<i>Visualizadores numéricos de 7 segmentos</i>	177
5.3.4	<i>Visualizadores alfanuméricos de cristal líquido</i>	180
6	Los temporizadores	189
6.1	Los temporizadores en los microcontroladores PIC	189
6.1.1	<i>El módulo Timer0</i>	190
6.1.2	<i>El módulo Timer1</i>	195
6.1.3	<i>El módulo Timer2</i>	199
6.2	El módulo CCP	202
6.2.1	<i>Modo de captura</i>	204
6.2.2	<i>Modo comparador.....</i>	208
6.2.3	<i>Modo PWM</i>	210
7	Las interrupciones	217
7.1	Conceptos básicos sobre las interrupciones	217
7.1.1	<i>Las solicitudes de interrupción y recursos asociados.....</i>	217
7.1.2	<i>Atención a las solicitudes de interrupción</i>	219
7.1.3	<i>Interrupciones fijas y vectorizadas.....</i>	221
7.2	Las interrupciones en los microcontroladores PIC	224
7.2.1	<i>Fuentes de interrupción y registros asociados</i>	224
7.2.2	<i>Estructura del subprograma de atención a una interrupción</i>	230
7.3	Ejemplos de uso de las interrupciones.....	234
7.3.1	<i>Reloj de tiempo real.....</i>	234
7.3.2	<i>Sincronización de eventos al reloj de tiempo real</i>	239
7.3.3	<i>Protección contra fallos de hardware</i>	243
8	La entrada y salida en serie	247
8.1	Conceptos básicos sobre entradas y salidas en serie.....	247
8.1.1	<i>Introducción a la transmisión de datos en serie.....</i>	247
8.1.2	<i>Comunicación asincrónica</i>	249
8.1.3	<i>Comunicación sincrónica</i>	249
8.1.4	<i>Conexión entre equipos: interfaz RS-232C.....</i>	250
8.1.5	<i>El bus I²C</i>	252

8.2 El puerto serie USART en los microcontroladores PIC	258
8.2.1 Descripción general	258
8.2.2 Funcionamiento en modo asincrónico	259
8.2.3 Funcionamiento en modo síncrono	262
8.2.4 Velocidad de la comunicación	263
8.3 El puerto serie SSP en los microcontroladores PIC	265
8.3.1 Interfaz SPI	265
8.3.2 Interfaz I ² C	270
9 Las entradas y salidas analógicas. Adquisición y distribución de señales. . . .	275
9.1 Funciones y estructura de un sistema de adquisición y distribución de señales	275
9.1.1 Funciones básicas en los sistemas de medida y control	275
9.1.2 Margen o rango dinámico	278
9.1.3 Ancho de banda	280
9.1.4 Muestreo de señales	282
9.1.5 Arquitecturas para la adquisición de señales. Sistemas de alto y bajo nivel	283
9.2 La etapa frontal para la adquisición de señales	284
9.2.1 Atenuadores	285
9.2.2 Amplificadores	289
9.2.3 Filtros y protecciones de entrada	293
9.2.4 Multiplexores analógicos	296
9.2.5 Filtros anti-alias	298
9.2.6 Amplificador de muestreo y retención	300
9.2.7 Convertidores A/D	302
9.3 El módulo de conversión A/D de 10 bits en los micro-controladores PIC	305
9.3.1 Arquitectura del módulo de conversión A/D	305
9.3.2 Tiempos de una conversión A/D	309
9.3.3 Programación del módulo de conversión A/D	312
9.4 Calibración	315
9.5 Interfaces directas entre sensor y microcontrolador	316
9.6 La etapa de salida para salidas analógicas	320
9.6.1 Convertidores D/A	320
9.6.2 Desmultiplexado analógico	321
9.6.3 Métodos de extrapolación	321
9.6.4 Salidas PWM	322
9.6.5 Protecciones de salida	324
Bibliografía	327
Anexo. Siglas y acrónimos utilizados en el libro.	329
Índice alfabético.	335

Índice

1	LA BIOMASA	1
1.1	QUÉ ES LA BIOMASA	1
1.2	LA BIOMASA COMO FUENTE ENERGÉTICA	2
1.3	LA COMBUSTIÓN Y EL EFECTO INVERNADERO	3
1.4	LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE BIOMASA	5
1.5	APLICACIONES DE LA BIOMASA EN LAS INDUSTRIAS	6
1.6	LA IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA BIOMASA	7
1.7	EL PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2005-2010	7
1.8	VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE BIOMASA	8
1.9	LA GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOMASA	9
1.10	PLANTAS DE BIOMASA EN ESPAÑA	11
1.10.1	<i>Plantas de biomasa en Andalucía</i>	11
1.10.2	<i>Resto de España</i>	15
2	TIPOS DE BIOMASA	17
2.1	BIOMASA NATURAL	17
2.2	BIOMASA RESIDUAL	18
2.2.1	<i>Residuos agrícolas</i>	20
2.2.2	<i>Residuos forestales</i>	21
2.2.3	<i>Residuos de industrias agrícolas y agroalimentarias</i>	22
2.2.4	<i>Residuos de industrias forestales</i>	23
2.2.5	<i>Residuos ganaderos</i>	24
2.2.6	<i>Residuos urbanos</i>	24
2.3	EXCEDENTES AGRÍCOLAS	25
2.4	CULTIVOS ENERGÉTICOS	25
2.4.1	<i>Qué son los cultivos energéticos</i>	25
2.4.2	<i>Características que deben tener los cultivos energéticos</i>	25
2.4.3	<i>Clasificación de los cultivos energéticos</i>	28
2.4.4	<i>Los cultivos energéticos en España</i>	29

2.4.5 Ventajas e inconvenientes de los cultivos energéticos	30
2.4.6 Aspectos económicos a tener en cuenta	31
2.4.7 Aspectos medioambientales a tener en cuenta	32
2.4.8 La paulownia	32
2.4.9 El cardo	36
2.4.10 La planta de tabaco	45
2.4.11 Arundo donax	50
2.4.12 King grass	54

3 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA 59

3.1 PROCESOS FÍSICOS	61
3.2 PROCESOS TERMOQUÍMICOS	63
3.2.1 Combustión	63
3.2.2 Gasificación	64
3.2.3 Pirolisis	64
3.3 PROCESOS BIOLÓGICOS	66
3.3.1 La fermentación alcohólica	66
3.3.2 La fermentación metánica	67
3.4 PROCESOS QUÍMICOS: TRANSESTERIFICACIÓN	68

4 LA VALORIZACIÓN DE LA BIOMASA MEDIANTE COMBUSTIÓN 71

4.1 QUÉ ES LA COMBUSTIÓN	71
4.2 EL AIRE O COMBURENTE	72
4.2.1 La composición del aire	72
4.2.2 La cantidad de aire necesaria	73
4.2.3 Aire primario y secundario	75
4.3 LA BIOMASA Y SUS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS	76
4.4 EL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA	78
4.4.1 Poder calorífico	78
4.4.2 El poder calorífico superior	79
4.4.3 El Poder Calorífico Inferior o PCI	81
4.4.4 La relación PCI/PCS	82
4.5 REACCIONES QUÍMICAS DEL PROCESO	83

4.6 LAS FASES DE LA COMBUSTIÓN DE LA BIOMASA	84
4.7 MEDIDAS A REALIZAR PARA EVALUAR EL PROCESO DE COMBUSTIÓN	86
5 LAS CENTRALES TERMOELÉCTRICAS DE BIOMASA	89
5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UNA CENTRAL DE BIOMASA	89
5.2 MODOS DE FUNCIONAMIENTO HABITUALES	95
5.2.1 <i>Funcionamiento en paralelo con la red</i>	95
5.2.2 <i>Funcionamiento en isla</i>	96
5.2.3 <i>Funcionamiento sin la central de generación</i>	96
5.3 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UNA PLANTA DE BIOMASA	96
5.4 RESUMEN DE SISTEMAS QUE COMPONEN UNA PLANTA DE BIOMASA	97
6 EL MERCADO ELÉCTRICO	99
6.1 EL MERCADO ELÉCTRICO	99
6.2 LOS 6 MERCADOS INTRADIARIOS	102
6.2.1 <i>Ofertas de venta en los mercados intradiarios</i>	103
6.2.2 <i>Ofertas de compra en los mercados intradiarios</i>	104
6.2.3 <i>Procesos de casación y resultados</i>	105
6.3 LA OPERACIÓN DEL SISTEMA	106
5.3.1 <i>Mercados de servicios de ajuste del sistema</i>	107
5.3.2 <i>Solución de restricciones técnicas</i>	108
5.3.3 <i>Servicios complementarios</i>	109
6.4 EL MERCADO ELÉCTRICO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES	112
7 SITUACIÓN ACTUAL Y MARCO LEGISLATIVO	115
7.1 LA NECESIDAD DE UN MARCO REGULATORIO Y EL APOYO INSTITUCIONAL	115
7.2 LA FALTA DE RENTABILIDAD DE DETERM TIPOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA	117
7.3 MARCO ANTERIOR AL AÑO 2013	118
7.3.1 <i>La Ley 54/1997</i>	119
7.3.2 <i>La ley 17/2007</i>	121
7.3.3 <i>El RD 1955/2000</i>	123

7.3.4 El RD 661/2007	125
7.3.5 El RDL 6/2009	129
7.3.6 El RD 1565/2010	131
7.4 EL DESEQUILIBRIO FINANCIERO Y EL DÉFICIT DE TARIFA	132
7.5 LA LEY 24/2013 Y EL RD 413/2014	133
7.6 LA RETRIBUCIÓN A PERCIBIR	135
7.6.1 La retribución a la inversión	136
7.6.2 La retribución a la operación	143
7.6.3 Estímulos a la inversión	144
7.6.4 Otros conceptos a tener en cuenta	144
7.6.5 Objetivos de rentabilidad de la retribución total	145
7.7. OBSERVACIONES Y COMENTARIOS A LA ACTUAL REGULACIÓN	145

8 PRETRATAMIENTO DE LA BIOMASA **147**

8.1 ALMACENAMIENTO DE LA BIOMASA	148
8.1.1 Tipos de almacenes	149
8.1.2 Criterios de selección del tipo de almacenamiento	152
8.1.3 Controles a efectuar en el parque de biomasa	154
8.2 TRANSPORTE HASTA LA CALDERA	156
8.3 NECESIDAD DE LOS TRATAMIENTOS PREVIOS	161
8.4 EL SECADO	162
8.5 ASTILLADO	164
8.6 MOLIENDA	167
8.7 CRIBADO	169
8.8 PELLETS	170
8.9 ALMACENAMIENTO INTERMEDIO	174
8.10 PESAJE: EL CONTROL DE LA CANTIDAD INTRODUCIDA	175
8.11 DOSIFICACIÓN EN LA CALDERA	175

9 LA CALDERA DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA **177**

9.1 LA CALDERA DE COMBUSTIÓN	177
9.2 FASES EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN DE BIOMASA	179
9.3 TIPOS DE CALDERA SEGÚN LA CIRCULACIÓN DE AGUA	180
9.3.1 Calderas pirotubulares	180
9.3.2 Calderas acuotubulares	182
9.4 TIPOS DE CALDERAS DE BIOMASA SEGÚN LA FORMA DE COMBUSTIÓN	186
9.4.1 Calderas de parrillas móviles	186
9.4.2 Calderas de lecho fluidizado	191
9.4.3 Calderas de quemador de suspensión	196
9.4.4 Comparación de tecnologías parrilla—lecho fluid	198
9.5 TIPOS DE CALDERAS SEGÚN LA PRESIÓN DEL HOGAR	199
9.6 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE CALDERAS DE BIOMASA	199
9.7 LA ENTRADA DE AIRE COMBUSTIBLE	200
9.8 LA ENTRADA DE COMBUSTIBLE	201
9.9 EL HOGAR. ZONA DE RADIACIÓN	203
9.10 EL SOBRECALENTADOR	207
9.11 EL EVAPORADOR	209
9.12 EL ECONOMIZADOR	211
9.13 SALIDA DE GASES	214
9.13.1 Separadores ciclónicos	214
9.13.2 Filtros de mangas	216
9.13.3 Electrofiltros	220
9.13.4 Sistema de monitorización continua de emisiones gaseosas	222
9.14 SALIDA DE CENIZAS	222
9.15 PROBLEMAS EN CALDERAS DE BIOMASA	224

10 EL CICLO AGUA-VAPOR **229**

10.1 EL CICLO RANKINE	229
10.2 LA FUNCIÓN DEL CICLO AGUA-VAPOR	230
10.3 EL ESQUEMA DE CICLO AGUA-VAPOR	231
10.4 EL CONDENSADOR	233

10.5 LAS BOMBAS DE CONDENSADO	236
10.6 PRECALENTADORES DE BAJA PRESIÓN	237
10.7 TANQUE DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	238
10.8 BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN	240
10.9 PRECALENTADORES DE ALTA PRESIÓN	241
10.10 VÁLVULA DE BY-PASS DE ALTA PRESIÓN	242

11 LA TURBINA DE VAPOR 245

11.1 LA TURBINA DE VAPOR, UNA MÁQUINA EXPERIMENTADA	245
11.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE VAPOR	247
11.2.1 Según la transformación de energía potencial en rotación	247
11.2.2 Según la presión a la entrada de la turbina	250
11.2.3 Según la presión del vapor de salida	251
11.2.4 Según la dirección del flujo en el rotor	252
11.2.5 Según la presencia de tomas intermedias de vapor	254
11.2.6 Según su conexión mecánica con otras turbinas	255
11.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE VAPOR	257
11.3.1 Sistema de admisión	257
11.3.2 El rotor	258
11.3.3 La carcasa	261
11.3.4 Cojinetes de apoyo, de bancada o radiales	265
11.3.5 Cojinete de empuje o axial	264
11.3.6 Sistema de lubricación	267
11.3.7 Sistema de extracción de vahos	269
11.3.8 Sistema de refrigeración de aceite	270
11.3.9 Sistema de aceite de control	270
11.3.10 El filtrado del aceite de lubricación	272
11.3.11 El aceite de elevación de eje	273
11.3.12 Conjunto de lubricación	274
11.3.13 Sistema de sellado de vapor	274
11.3.14 Virador	280
11.4 EL SISTEMA DE CONTROL	281
11.4.1 Funciones del sistema de control	281
11.4.2 Principales elementos del sistema de control	281

11.5 ELEMENTOS AUXILIARES DE LA TURBINA	286
11.5.1 Bancada	286
11.5.2 Nave de turbina	286
11.5.3 Puente grúa	287
11.5.4 Reductor	288
12 EL GENERADOR	291
12.1 EL GENERADOR ELÉCTRICO ROTATIVO	291
12.2 EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	294
12.3 TIPOS DE GENERADORES	298
12.3.1 De acuerdo con el tipo de corriente	298
12.3.2 De acuerdo con la velocidad de giro	301
12.3.3 De acuerdo con el tipo de refrigeración	305
12.3.4 De acuerdo con el número de fases	307
12.3.5 Por el tipo de polos	309
12.4 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN GENERADOR	311
12.4.1 Potencia aparente máxima	311
12.4.2 Potencia activa y $\cos \phi$	314
12.4.3 Intensidad máxima	315
12.4.4 Voltaje de generación	315
12.4.5 Número de polos del rotor	317
12.4.6 Número de fases del estator	317
12.4.7 Velocidad de rotación	317
12.4.8 Corrientes de excitación nominales	318
12.4.9 Razón de corto circuito RCC	318
12.4.10 Tipo de refrigeración	319
12.4.11 Tipo de excitatriz	320
12.4.12 Clase de servicio	321
12.4.13 Tipo de aislamiento	323
12.4.14 Grado de protección	323
12.4.16 La hoja de datos técnicos del generador	325
12.5 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO	326
12.5.1 El rotor	326
12.5.2 El estator	331
12.5.3 Los rodamientos o cojinetes	342
12.6 ELEMENTOS AUXILIARES DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO	349

12.6.1 La excitatriz	349
12.6.2 El sistema aislante	356
12.6.3 El sistema de refrigeración	360
12.6.4 El sistema de lubricación	361
12.6.5 La caja de conexiones	362
12.6.6 El punto neutro	362
12.7 EL TIPO DE GENERADOR MÁS HABITUAL EN PLANTAS DE BIOMASA	363

13 SISTEMAS ELÉCTRICOS DE ALTA, MEDIA Y BAJA TENSIÓN 365

13.1 EL SISTEMA DE ALTA TENSIÓN	365
13.1.1 Transformador principal	368
13.1.2 Principales partes de un transformador	379
13.1.3 Parámetros característicos de un transformador	389
13.1.4. Placa de características del transformador	393
13.1.5 Seccionadores de línea, de barras y de puesta a tierra	396
13.1.6 Interruptor principal	402
13.1.7 Transformadores de tensión	412
13.1.8 Transformadores de intensidad	415
13.1.9 Conjunto de elementos de protección contra rayos	418
13.1.10 Protecciones eléctricas	421
13.1.11 Puesta a tierra	426
13.2 EL SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN	427
13.2.1 El generador	428
13.3.2 La sala eléctrica	428
13.3.3 Las celdas de media tensión	429
13.2.4 El interruptor de máquina	434
13.2.5 La celda de medida del transformador	434
13.2.6 La celda de servicios auxiliares	436
13.2.7 El transformador de servicios auxiliares	436
13.2.8 Las celdas de salida	437
13.3 EL SISTEMA DE BAJA TENSIÓN	438
13.3.1 Los sistemas auxiliares	438
13.3.2 La barra de servicios esenciales	438
13.3.3 La barra de consumidores ultraesenciales	438
13.3.4 Grupo generador diesel	439

14	SISTEMAS AUXILIARES	441
14.1	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PRINCIPAL	441
14.1.1	<i>Circuito abierto</i>	442
14.1.2	<i>Circuito semiabierto con torre de refrigeración</i>	442
14.1.3	<i>Circuito cerrado, con aerocondensador</i>	446
14.2	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EQUIPOS	447
14.3	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA (PTA)	449
14.4	PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES	453
14.5	SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	455
14.6	SISTEMA CONTRAINCENDIOS	457

Índice

1	LAS TURBINAS DE GAS	1
1.1	TURBINAS DE GAS	1
1.2	HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS TURBINAS DE GAS	5
1.3	TIPOS DE TURBINAS DE GAS	14
1.4	PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE TURBINAS DE GAS	24
1.5	PRINCIPALES COMPONENTES DE LA TURBINA	28
1.6	ELEMENTOS AUXILIARES	38
1.7	COMBUSTIBLES UTILIZABLES EN TURBINAS DE GAS	42
2	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	45
2.1	NOCIONES BÁSICAS DE TERMODINÁMICA	46
2.2	EL CICLO DE CARNOT	57
2.3	EL CICLO BRAYTON	64
2.4	COMPARACIÓN ENTRE EL CICLO CARNOT Y EL IDEAL DE BRAYTON	68
2.5	CICLO REAL	69
2.6	MEJORAS AL CICLO	70
3	MONTAJE DE TURBINAS DE GAS	81
3.1	FORMAS DE ENVÍO DE LAS TURBINAS	81
3.2	ASPECTOS PREVIOS A VERIFICAR	82

3.3 LA CIMENTACIÓN	84
3.4 CABLES Y TUBERÍAS	87
3.5 LA COLOCACIÓN	88
3.6 LA NIVELACIÓN	90
3.7 LA ALINEACIÓN	90
3.8 LA SUJECIÓN	94
3.9 DILATACIONES Y CONTRACCIONES	95
3.10 EL MONTAJE DE LA CASA DE FILTROS	96
3.11 LA CHIMENEA	99
3.12 ESCALERAS Y ACCESOS	101
3.13 MONTAJE DE LOS SISTEMAS AUXILIARES	102
3.14 MONTAJE ELÉCTRICO Y DE INSTRUMENTACIÓN	104
3.15 EL MONTAJE DEL GENERADOR	105
3.16 DOCUMENTOS GENERADOS EN EL MONTAJE DEL TURBOGRUPO	107
3.17 EL TIEMPO DE MONTAJE	107
4 EL PROCESO DE PUESTA EN MARCHA	109
4.1 OBJETIVOS DE LA PUESTA EN MARCHA	109
4.2 DURACIÓN DEL PROCESO	110
4.3 SECUENCIA HABITUAL	111
4.4 VERIFICACIONES PREVIAS	112
4.5 EL COMMISSIONING FRÍO	114

4.6 VERIFICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SUMINISTROS	119
4.7 COMMISSIONING CALIENTE	121
4.8 OPTIMIZACIÓN	129
4.9 ERRORES HABITUALES EN EL COMMISSIONING DE TURBINAS	129
5 LAS PRUEBAS DE ACEPTACIÓN	133
5.1 QUÉ SON LAS PRUEBAS DE PRESTACIONES	133
5.2 LAS CONSECUENCIAS DE LAS PRUEBAS DE ACEPTACIÓN	136
5.3 LAS NORMAS ASME PTC	137
5.4 PRUEBAS PREVIAS	138
5.5 CONDICIONES GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	139
5.6 LA PRUEBA DE POTENCIA	143
5.7 LA PRUEBA DE RENDIMIENTO	145
5.8 PRUEBAS TÉCNICAS	146
5.9 PRUEBAS MEDIOAMBIENTALES	148
5.10 LA ENTREGA PROVISIONAL	150
5.11 EL PERIODO DE GARANTÍA	152
5.12 LA ENTREGA DEFINITIVA	154
5.13 VALORES DE REFERENCIA	154
6 OPERACIÓN DE TURBINAS DE GAS	157
6.1 ARRANQUE DE TURBINA DE GAS	158
6.2 VIGILANCIA DE PARÁMETROS DURANTE LA MARCHA NORMAL	165

6.3 PARADA DE LA TURBINA DE GAS	170
6.4 CONSEJOS Y PRECAUCIONES EN LA EXPLOTACIÓN DE TURBINAS	172
6.5 LA LIMPIEZA DEL COMPRESOR	173
6.6 VERIFICACIÓN DE PRESTACIONES	176
7 AVERÍAS EN TURBINAS DE GAS	179
7.1 AVERÍAS EN LA CASA DE FILTROS	181
7.2 AVERÍAS EN EL COMPRESOR	183
7.3 AVERÍAS TÍPICAS EN CÁMARA DE COMBUSTIÓN	193
7.4 AVERÍAS TÍPICAS EN TURBINA DE EXPANSIÓN	196
7.5 FALLOS EN SUMINISTROS	199
7.6 VIBRACIÓN EN TURBINAS DE GAS	200
7.7 EL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ DE UNA AVERÍA	206
7.8 EL DIAGNÓSTICO DE UNA AVERÍA	220
8 MANTENIMIENTO PROGRAMADO DE TURBINAS DE GAS	235
8.1 MANTENIMIENTO RUTINARIO	237
8.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO O CONDICIONAL	238
8.3 REVISIONES MENORES	239
8.4 OVERHAUL O REVISIONES MAYORES	241
9 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN TURBINAS DE GAS	261
9.1 LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	261

9.2 TRES ASPECTOS IMPORTANTES APLICANDO TÉCNICAS PREDICTIVAS	263
9.3 LOS VALORES DE REFERENCIA	263
9.4 LAS INSPECCIONES BOROSCÓPICAS	264
9.5 ANÁLISIS DEL CAMINO DEL GAS	272
9.6 EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES	281
9.7 LA TERMOGRAFÍA	300
9.8 INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS	313
9.9 ANÁLISIS DE ACEITE	316
9.10 EL ANÁLISIS DE NUMOS DE COMBUSTIÓN	323
10 LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE TURBINAS DE GAS	327
10.1 QUÉ ES UNA EVALUACIÓN TÉCNICA	327
10.2 PARA QUÉ SIRVE UNA EVALUACIÓN TÉCNICA	328
10.3 ÁREAS EVALUADAS	329
10.4 FASES DE UNA EVALUACIÓN	330
10.5 FUENTES DE INFORMACIÓN	330
10.6 TIPOS DE EVALUACIONES TÉCNICAS	337
10.7 DETALLE DE TODOS LOS ASPECTOS A EVALUAR	338
10.8 FORMAS DE LLEVAR A CABO LA INSPECCIÓN	360
10.9 LA INCERTIDUMBRE	361
10.10 EL INFORME DE LA EVALUACIÓN	362
10.11 ERRORES HABITUALES EN LA REALIZACIÓN DE EVALUACIONES	363
10.12 EL SOFTWARE EVALPLANT	365

Índice analítico

PARA EMPEZAR: CONCEPTOS Y DEFINICIONES 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

- 2.1 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

- 3.1 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 Δu y Δh 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

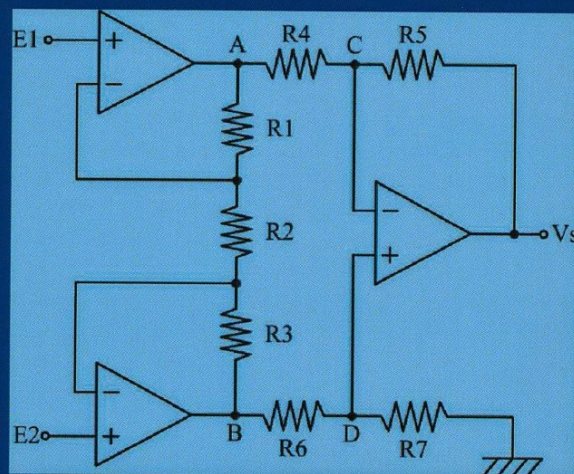
Índice de tablas 808

Índice de figuras y gráficos 856

RESPUESTAS A PROBLEMAS SELECCIONADOS 864

ÍNDICE ALFABÉTICO 867

PROBLEMAS RESUELTOS DE INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA



Francisco Rogelio Palomo Pinto
Alfredo Pérez Vega-Leal
Eduardo Galván Díez

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Índice general

1. Teoría de medidas	13
2. Ruido	33
3. EMI	63
4. Sensores	125
5. Acondicionamiento	171
6. Multímetros	221
7. Analizadores de Espectro	283
8. Medidas de Potencia RF	303
9. Generadores de Señal	339
