

Índice

Prólogo a la 6. ^a edición	xiii	1.9. Intensidad de la corriente eléctrica	13
Prólogo	xv	1.10. Sentido real y convencional de la corriente ..	14
■ 1. La electricidad. Conceptos generales	1	1.11. Movimiento de electrones en un circuito ...	14
1.1. Producción y consumo de electricidad	2	1.12. Medida de la intensidad de la corriente eléctrica	14
1.1.1. Producción de energía eléctrica	2	1.13. Corriente continua (C.C.)	15
1.1.2. Las centrales eléctricas	2	1.14. Corriente alterna (C.A.)	15
1.1.3. El generador eléctrico	3	1.15. Tensión eléctrica y fuerza electromotriz	16
1.1.4. El transporte de la electricidad	3	1.16. Medida de la tensión	17
1.2. Efectos de la electricidad	4	Actividades Finales	18
1.3. La electricidad	5	■ 2. Resistencia eléctrica	19
1.4. Electricidad estática	6	2.1. Conductores y aislantes	20
1.5. Carga eléctrica	7	2.2. Resistencia eléctrica	20
1.5.1. Ley de Coulomb	7	2.3. Medida de la resistencia eléctrica	21
1.5.2. Campo eléctrico	8	2.4. La ley de Ohm	22
1.6. Movimiento de electrones	8	2.5. Resistencia de un conductor	23
1.6.1. Electricidad atmosférica	8	2.6. Conductancia y conductividad	25
1.7. El circuito eléctrico	9	2.7. Influencia de la temperatura sobre la resistividad	25
1.8. Formas de producir electricidad	10	2.8. Resistencia de los aislantes	27
1.8.1. Producción de electricidad por frotamiento	10	2.9. Rigidez dieléctrica	27
1.8.2. Producción de electricidad por reacción química	11	Actividades Finales	28
1.8.3. Producción de electricidad por presión	12	■ 3. Potencia y energía eléctrica	31
1.8.4. Producción de electricidad por acción de la luz	12	3.1. Potencia eléctrica	32
1.8.5. Producción de electricidad por acción del calor	13	3.2. Medida de la potencia eléctrica	34
1.8.6. Producción de electricidad por acción magnética	13	3.3. Energía eléctrica	34
		3.4. Medida de la energía eléctrica	35
		Actividades Finales	36

4. Efecto térmico de la electricidad 39

4.1. Efecto Joule 40
 4.2. Calor específico 40
 4.3. Cálculo de la sección de conductores 41
 4.3.1. Cálculo de la sección teniendo en cuenta el calentamiento de los conductores 42
 4.3.2. Densidad de corriente de un conductor .. 44
 4.3.3. Por qué se emplean altas tensiones en el transporte de energía eléctrica 44
 4.3.4. Caída de tensión en las líneas eléctricas 45
 4.3.5. Cálculo de la sección teniendo en cuenta la caída de tensión 46
 4.3.6. Cálculo de la sección teniendo en cuenta la norma UNE 20460-5-523 ... 47
 4.3.7. Cálculo de la sección de conductores teniendo en cuenta la conductividad .. 47
 4.3.8. La caída de tensión según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión 48
 Actividades Finales 50

5. Aplicaciones del efecto térmico 53

5.1. Elementos de caldeo 54
 5.2. Transmisión de calor 54
 5.2.1. Calefacción por suelos y techos radiantes 55
 5.2.2. Calefacción por acumulación 56
 5.2.3. El termo eléctrico 56
 5.3. Inconvenientes del efecto térmico 56
 5.3.1. El cortocircuito 56
 5.3.2. La sobrecarga 57
 5.3.3. Protección de los circuitos contra cortocircuitos y sobrecargas 58
 5.3.4. Fusibles 58
 5.3.5. Los interruptores automáticos 60
 5.3.6. Funcionamiento de un interruptor automático 62
 5.3.7. Los motores pueden producir sobrecargas en su funcionamiento 63
 Actividades Finales 64

6. Circuito serie, paralelo y mixto 65

6.1. Acoplamiento de receptores en serie 66
 6.1.1. Aplicaciones prácticas del acoplamiento en serie 69

6.2. Acoplamiento de receptores en paralelo 70
 6.3. Circuitos mixtos 73
 Actividades Finales 76

7. Resolución de circuitos con varias mallas 79

7.1. Leyes de Kirchhoff 80
 7.2. Ecuaciones de las mallas o de Maxwell 83
 7.3. Resolución de circuitos mediante transformaciones de triángulo a estrella 85
 7.4. Resolución de circuitos mediante transformaciones de estrella a triángulo 86
 7.5. Teorema de la superposición 87
 7.6. Teorema de Thévenin 89
 Actividades Finales 91

8. Generadores electroquímicos y fotovoltaicos 95

8.1. Electrólisis 96
 8.2. Recubrimientos galvánicos 96
 8.3. Pilas eléctricas 96
 8.3.1. Características de las pilas 97
 8.3.2. Tipos de pilas eléctricas 97
 8.4. Acumuladores 98
 8.4.1. Acumuladores de plomo 98
 8.4.2. Constitución de un acumulador 99
 8.4.3. Capacidad de un acumulador 99
 8.4.4. Tensión y corriente de carga de un acumulador 100
 8.4.5. Tensión y corriente de descarga 100
 8.4.6. Resistencia interna 100
 8.4.7. Vida de un acumulador 101
 8.4.8. Autodescarga de un acumulador 101
 8.4.9. Acumuladores alcalinos 101
 8.5. Conexión de pilas y acumuladores 101
 8.5.1. Tensión en bornes del generador 101
 8.5.2. Potencia del generador 102
 8.5.3. Rendimiento eléctrico de un generador 102
 8.5.4. Conexión de generadores en serie 102
 8.5.5. Conexión de generadores en paralelo .. 103
 8.6. Energía solar fotovoltaica 104
 8.6.1. Características eléctricas de los paneles fotovoltaicos 105
 8.6.2. Tipos de paneles fotovoltaicos 105

8.6.3. Instalaciones aisladas de la red eléctrica	107
8.6.4. Instalaciones conectadas a la red eléctrica	108
Actividades Finales	109

■ 9. Los condensadores 111

9.1. Funcionamiento de un condensador	112
9.2. Capacidad de un condensador	113
9.3. Carga de un condensador	114
9.4. Descarga de un condensador	115
9.5. Constante de tiempo de carga y descarga de un condensador	115
9.6. Especificaciones técnicas de los condensadores	116
9.7. Tipos de condensadores	116
9.7.1. Condensadores de papel impregnado ..	117
9.7.2. Condensadores de papel metalizado ..	117
9.7.3. Condensadores de plástico	117
9.7.4. Condensadores cerámicos	117
9.7.5. Condensadores de mica	117
9.7.6. Condensadores electrolíticos de aluminio	117
9.8. Identificación de los valores de los condensadores	118
9.9. Asociación de condensadores	119
9.9.1. Asociación de condensadores en serie ..	119
9.9.2. Asociación en paralelo	121
Actividades Finales	122

■ 10. Magnetismo y electromagnetismo 125

10.1. Imanes	126
10.1.1. Polos de un imán	126
10.1.2. Brújula	126
10.1.3. Clases de imanes	126
10.1.4. Teoría molecular de los imanes	127
10.1.5. Campo magnético de un imán	127
10.2. Electromagnetismo	128
10.2.1. Campo magnético creado por un conductor cuando es atravesado por una corriente eléctrica	128
10.2.2. Campo magnético de un conductor en forma de anillo	129
10.2.3. Campo magnético formado por una bobina	129
10.3. Magnitudes magnéticas	130
10.3.1. Flujo magnético (Φ)	130

10.3.2. Inducción magnética (B)	130
10.3.3. Fuerza magnetomotriz (\mathcal{F})	131
10.3.4. Intensidad de campo magnético (H) ..	131
10.3.5. Reluctancia (\mathcal{R})	132
10.4. Curva de magnetización. Saturación	132
10.5. Permeabilidad magnética	133
10.6. Histéresis magnética	134
10.7. Cálculo de circuitos magnéticos	135
10.8. Electroimanes	137
10.8.1. Aplicaciones prácticas de los electroimanes	138
Actividades Finales	140

■ 11. Interacción entre la corriente eléctrica y un campo magnético 143

11.1. Inducción electromagnética	144
11.1.1. Experiencia de Faraday	145
11.1.2. Sentido de la f.e.m. inducida. Ley de Lenz	146
11.1.3. Fuerza electromotriz inducida en un circuito próximo	147
11.1.4. Aplicaciones prácticas de la inducción electromagnética	148
11.2. Corrientes parásitas o de Foucault	151
11.3. Autoinducción. Bobinas	152
11.3.1. Coeficiente de autoinducción	153
11.3.2. Aplicaciones prácticas de la autoinducción	154
11.4. Fuerza sobre una corriente eléctrica en el seno de un campo magnético	155
11.4.1. Fuerza entre dos corrientes paralelas ..	157
11.4.2. Definición electromagnética de amperio	158
Actividades Finales	159

■ 12. La corriente alterna 161

12.1. Ventajas de la corriente alterna	162
12.2. Producción de una corriente alterna	162
12.3. Valores característicos de la C.A.	165
12.3.1. Valor instantáneo	165
12.3.2. Valor máximo de la tensión	165
12.3.3. Tensión eficaz	165
12.3.4. Intensidad eficaz	165
12.3.5. Valor medio del ciclo completo	166
12.3.6. Ciclo o periodo	166
12.3.7. Frecuencia	166

12.3.8. Relación entre la frecuencia y la velocidad angular	167	14.4. Circuitos oscilantes	206
12.4. Receptores elementales en corriente alterna	167	14.4.1. Resonancia	207
12.4.1. Circuito con resistencia pura	167	14.4.2. Variación de la impedancia con la frecuencia. Representación gráfica ..	207
12.4.2. Circuito con bobina	169	14.4.3. Resonancia en serie	207
12.4.3. Circuito con condensador	171	14.4.4. Resonancia en paralelo	208
12.4.4. Resumen de los efectos producidos por los receptores elementales	174	Actividades Finales	209
Actividades Finales	175	15. Sistemas trifásicos	215
13. Circuitos serie R-L-C en C.A.	179	15.1. Ventajas del uso de sistemas trifásicos	216
13.1. Acoplamiento en serie de bobinas y resistencias	180	15.2. Generación de un sistema de C.A. trifásica ..	216
13.1.1. Triángulo de tensiones	181	15.2.1. Conexión del alternador en estrella ..	218
13.1.2. Triángulo de impedancias	181	15.3. Conexión de los receptores	219
13.1.3. Potencia de un circuito R-L	182	15.3.1. Carga equilibrada en estrella	219
13.2. Acoplamiento en serie de resistencias y condensadores	184	15.3.2. Carga equilibrada en triángulo	222
13.3. Circuito serie R-L-C	186	15.4. Corrección del factor de potencia	225
13.4. Importancia práctica del factor de potencia ($\cos \varphi$)	188	15.5. Instalaciones trifásicas de varios receptores	227
13.4.1. Corrección del factor de potencia mediante condensadores	189	15.6. Caída de tensión en las líneas trifásicas de C.A.	228
13.4.2. Tipos de compensación de la energía reactiva	191	15.7. Cálculo de la sección de conductores en líneas con varios receptores según el REBT ..	229
13.5. Caída de tensión en las líneas eléctricas monofásicas de C.A.	192	15.8. Componentes armónicas en C.A.	231
Actividades Finales	194	15.8.1. Características de los armónicos ...	231
14. Resolución de circuitos paralelos y mixtos en C.A.	197	15.8.2. Efectos que producen los armónicos ..	233
14.1. Acoplamiento de receptores en paralelo en C.A.	198	15.8.3. Medida de los armónicos	233
14.2. Instalaciones monofásicas de varios receptores	198	15.8.4. Sistemas para la compensación de armónicos	233
14.3. Resolución de circuitos de C.A. mediante el cálculo vectorial con números complejos ...	200	Actividades Finales	235
14.3.1. Representación de un número complejo	201	16. Medidas eléctricas	239
14.3.2. Operaciones con números complejos	201	16.1. Errores en la medida	240
14.3.3. Aplicación de los números complejos a la resolución de circuitos	202	16.1.1. Errores absolutos y relativos	240
14.3.4. Potencia compleja	205	16.1.2. Precisión de un aparato de medida ..	240
		16.2. Normas generales para la toma de medidas eléctricas	240
		16.3. Instrumentos de medida analógicos y digitales	241
		16.4. Sistemas de medida	242
		16.4.1. Bobina móvil	243
		16.4.2. Bobina móvil con rectificador	243
		16.4.3. Bobina móvil con convertidor incorporado	244
		16.4.4. Hierro móvil	244
		16.4.5. Electrodinámico	244
		16.4.6. Ferrodinámico	245

16.4.7. Inducción	245
16.4.8. Bimetálico	245
16.4.9. Láminas vibrantes	245
16.5. Medida de intensidad de corriente	246
16.5.1. Ampliación del alcance de un amperímetro mediante <i>shunt</i>	246
16.5.2. Ampliación del alcance de amperímetros mediante transformadores de intensidad	247
16.6. Medidas de tensión	249
16.6.1. Ampliación del alcance de un voltímetro mediante resistencias adicionales en serie	249
16.6.2. Ampliación del alcance de un voltímetro mediante transformadores de tensión	250
16.7. El polímetro	251
16.8. Medidas de potencia	252
16.8.1. Medida de la potencia reactiva con vármetro	253
16.8.2. Medida de potencia activa en C.A. trifásica	253
16.9. Medida de energía en sistemas trifásicos ..	255
16.10. Medida de la frecuencia	257
16.11. Medida del factor de potencia	257
16.12. Medida de resistencias eléctricas	257
16.12.1. Medida de resistencias con óhmetro amperimétrico	257
16.12.2. Medida de resistencias mediante puentes de medida	258
16.12.3. Medida de resistencias de aislamiento	259
16.12.4. Medida de resistencia de una toma de tierra	260
16.13. Sistemas avanzados de medida	261
16.13.1. Analizador de red trifásico	261
16.13.2. Comprobador de instalaciones eléctricas de baja tensión	261
16.13.3. Cámara termográfica	262
16.14. El osciloscopio	262
16.14.1. Manejo del osciloscopio	264
Actividades Finales	265

■ 17. Lámparas eléctricas 269

17.1. Magnitudes luminosas de las lámparas eléctricas	270
17.1.1. Flujo luminoso	270

17.1.2. Eficacia luminosa	270
17.1.3. Índice de reproducción cromático (IRC)	271
17.1.4. Temperatura de color (K)	271
17.1.5. Iluminancia o nivel de iluminación (<i>E</i>)	271
17.2. Tipos de lámparas eléctricas	272
17.2.1. Lámparas incandescentes	273
17.2.2. Lámparas incandescentes con halógenos	273
17.2.3. Lámparas fluorescentes	274
17.2.4. Lámparas fluorescentes compactas o de bajo consumo ...	277
17.2.5. Lámparas de vapor de mercurio de color corregido	278
17.2.6. Lámparas de vapor de mercurio con halogenuros metálicos	278
17.2.7. Lámparas de vapor de sodio a alta presión	279
17.2.8. Lámparas de vapor de sodio a baja presión	279
17.2.9. Lámparas de descarga de gas a baja presión por inducción	280
17.2.10. Lámparas con Leds	280
17.3. Proyectos de alumbrado de interiores	281
Actividades Finales	283

■ 18. El transformador 285

18.1. El transformador monofásico	286
18.1.1. Funcionamiento de un transformador ideal	287
18.1.2. Transformador real	290
18.1.3. Ensayo en vacío del transformador	292
18.1.4. Transformador real en carga	292
18.1.5. Circuito equivalente en cortocircuito del transformador ...	293
18.1.6. Ensayo del transformador en cortocircuito	294
18.1.7. Corriente de cortocircuito accidental	296
18.1.8. Caída de tensión de un transformador	297
18.1.9. Rendimiento de un transformador ..	300
18.1.10. Características nominales de un transformador	301
18.2. Autotransformadores	301

18.2.1. Autotransformadores de regulación 302

18.3. Transformadores trifásicos 302

18.3.1. Conexiones de los transformadores trifásicos 303

18.3.2. Desfase entre el primario y el secundario de transformadores trifásicos 304

18.3.3. Ensayo en vacío de un transformador trifásico 304

18.3.4. Ensayo en cortocircuito de un transformador trifásico 305

18.3.5. Conexión en paralelo de transformadores 307

18.3.6. Refrigeración de los transformadores 307

18.3.7. Características de un transformador 308

18.4. Ensayos para transformadores monofásicos y trifásicos 309

Actividades Finales 310

■ 19. Máquinas eléctricas de corriente continua 313

19.1. Clasificación de las máquinas eléctricas .. 314

19.2. Principio de funcionamiento de los generadores de C.C. 314

19.3. Constitución de una máquina de C.C. 316

19.3.1. Circuito magnético de una máquina de C.C. 317

19.3.2. Reacción del inducido 318

19.3.3. Devanado de compensación 319

19.4. Fuerza electromotriz generada por una dinamo 319

19.5. Tipos de excitación de las dinamos 319

19.5.1. Dinamos de excitación independiente 320

19.5.2. Dinamos autoexcitadas 320

19.5.3. Dinamo con excitación en derivación (*shunt*) 320

19.5.4. Dinamo con excitación en serie ... 321

19.5.5. Dinamo con excitación *compound* 322

19.6. Ensayos en una dinamo 322

19.7. Principio de funcionamiento del motor de C.C. 323

19.8. Características de los motores de C.C. 324

19.8.1. Fuerza contraelectromotriz 324

19.8.2. Corriente del inducido 324

19.8.3. Corriente absorbida en el arranque 325

19.8.4. Rendimiento de un motor eléctrico 326

19.8.5. Par motor 326

19.8.6. Velocidad de giro 327

19.9. Conexión de los motores de C.C. 328

19.9.1. Motor con excitación independiente 328

19.9.2. Motor con excitación derivación o *shunt* 328

19.9.3. Motor con excitación en serie 330

19.9.4. Motor de excitación *compound* ... 332

19.10. Inversión del sentido de giro de los motores de C.C. 333

19.11. Regulación y control de los motores de C.C. 333

19.12. Ensayos de los motores de C.C. 334

Actividades Finales 335

■ 20. Máquinas de C.A. 339

20.1. El alternador trifásico 340

20.1.1. Constitución de un alternador de inducido fijo 340

20.1.2. Magnitudes características de un alternador 341

20.1.3. Acoplamiento de alternadores 343

20.2. El motor asíncrono trifásico 344

20.2.1. Principio de funcionamiento del motor asíncrono trifásico 344

20.2.2. Motor asíncrono trifásico de rotor en cortocircuito 345

20.2.3. Sistemas de arranque de los motores asíncronos trifásicos de rotor en cortocircuito 351

20.3. Motor asíncrono de rotor bobinado o de anillos rozantes 354

20.4. Arrancadores estáticos (electrónicos) 355

20.5. Inversión de giro de un motor asíncrono trifásico 356

20.6. Regulación de velocidad de los motores asíncronos trifásicos 357

20.6.1. Motores de dos velocidades en conexión Dahlander	357
20.6.2. Motor de dos velocidades con dos devanados separados	357
20.7. Motores monofásicos	358
20.7.1. Motor monofásico de inducción de rotor en cortocircuito	358
20.7.2. Motor asíncrono monofásico de fase partida	359
20.7.3. Motor asíncrono monofásico con condensador de arranque	359
20.7.4. Motor monofásico con espira en cortocircuito	360
20.7.5. Motor trifásico como monofásico	361
20.7.6. Motor universal	361
20.8. Motor síncrono trifásico	362
20.9. Motores especiales	363
20.9.1. Motor paso a paso	363
20.9.2. Servomotor	363
20.10. El alternador asíncrono de inducción	363
20.11. Ensayos de los motores de C.A.	365
Actividades Finales	366

■ 21. Seguridad en las instalaciones electrotécnicas **369**

21.1. Riesgo eléctrico	370
21.2. Efectos fisiológicos producidos por la corriente eléctrica	370
21.3. Factores que influyen en el riesgo eléctrico	371
21.3.1. Intensidad de la corriente y tiempo de duración del contacto	372
21.3.2. Recorrido o trayectoria de la corriente a través del cuerpo	372
21.3.3. Impedancia o resistencia del cuerpo humano	372

21.3.4. Tensión de contacto	373
21.3.5. Tipo de corriente y frecuencia ...	373
21.4. Tipos de contactos eléctricos y sistemas de protección	374
21.4.1. Contacto eléctrico directo	374
21.4.2. Sistemas de protección para evitar los contactos directos	375
21.4.3. Contacto eléctrico indirecto	377
21.4.4. Sistemas de protección contra contactos indirectos	379
21.5. Riesgos de la electricidad sobre los materiales	386
21.5.1. Protección contra sobreintensidades	386
21.5.2. Protección contra sobretensiones	386
21.6. Normativa sobre seguridad	387
21.6.1. Ley de Prevención de Riesgos Laborales	387
21.6.2. Normativa sobre seguridad en el sector eléctrico	387
21.7. Normas de seguridad para la realización de trabajos eléctricos	388
21.7.1. Normas generales	388
21.7.2. Trabajos en ausencia de tensión ..	389
21.7.3. Trabajos en tensión	394
21.8. Primeros auxilios en los accidentes eléctricos	394
Actividades Finales	396

■ Solución a las actividades de comprobación **399**

Recursos de aprendizaje en el MATERIAL WEB	405
---	------------