

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

12.4. Receptores elementales en corriente alterna 167

12.4.1. Circuito con resistencia pura 167

12.4.2. Circuito con bobina 169

12.4.3. Circuito con condensador 171

12.4.4. Resumen de los efectos producidos por los receptores elementales 174

Actividades Finales 175

13. Circuitos serie R-L-C en C.A. 179

13.1. Acoplamiento en serie de bobinas y resistencias 180

13.1.1. Triángulo de tensiones 181

13.1.2. Triángulo de impedancias 181

13.1.3. Potencia de un circuito R-L 182

13.2. Acoplamiento en serie de resistencias y condensadores 184

13.3. Circuito serie R-L-C 186

13.4. Importancia práctica del factor de potencia (cos φ) 188

13.4.1. Corrección del factor de potencia mediante condensadores 189

13.4.2. Tipos de compensación de la energía reactiva 191

13.5. Caída de tensión en las líneas eléctricas monofásicas de C.A. 192

Actividades Finales 194

14. Resolución de circuitos paralelos y mixtos en C.A. 197

14.1. Acoplamiento de receptores en paralelo en C.A. 198

14.2. Instalaciones monofásicas de varios receptores 198

14.3. Resolución de circuitos de C.A. mediante el cálculo vectorial con números complejos ... 200

14.3.1. Representación de un número complejo 201

14.3.2. Operaciones con números complejos 201

14.3.3. Aplicación de los números complejos a la resolución de circuitos 202

14.3.4. Potencia compleja 205

14.4. Circuitos oscilantes 206

14.4.1. Resonancia 207

14.4.2. Variación de la impedancia con la frecuencia. Representación gráfica .. 207

14.4.3. Resonancia en serie 207

14.4.4. Resonancia en paralelo 208

Actividades Finales 209

15. Sistemas trifásicos 215

15.1. Ventajas del uso de sistemas trifásicos 216

15.2. Generación de un sistema de C.A. trifásica .. 216

15.2.1. Conexión del alternador en estrella .. 218

15.3. Conexión de los receptores 219

15.3.1. Carga equilibrada en estrella 219

15.3.2. Carga equilibrada en triángulo 222

15.4. Corrección del factor de potencia 225

15.5. Instalaciones trifásicas de varios receptores 227

15.6. Caída de tensión en las líneas trifásicas de C.A. 228

15.7. Cálculo de la sección de conductores en líneas con varios receptores según el REBT 229

15.8. Componentes armónicas en C.A. 231

15.8.1. Características de los armónicos ... 231

15.8.2. Efectos que producen los armónicos .. 233

15.8.3. Medida de los armónicos 233

15.8.4. Sistemas para la compensación de armónicos 233

Actividades Finales 235

16. Medidas eléctricas 239

16.1. Errores en la medida 240

16.1.1. Errores absolutos y relativos 240

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 *shunt* 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 (*E*) 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 (<i>shunt</i>)	320
19.5.4. Dinamo con excitación en serie	321
19.5.5. Dinamo con excitación <i>compound</i>	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 <i>shunt</i>	328
19.9.3. Motor con excitación en serie	330
19.9.4. Motor de excitación <i>compound</i>	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 sobrintensidades	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
---	------------