

# SUMARIO

## I. Electrostática

§ 1. Moléculas y átomos . . . . .	5
§ 2. Nociones generales sobre la electricidad y la teoría electrónica . . . . .	6
§ 3. Sistemas de unidades de medición de las magnitudes eléctricas y magnéticas . . . . .	14
§ 4. Ley de Coulomb . . . . .	16
§ 5. Campo eléctrico . . . . .	17
§ 6. El conductor en el campo eléctrico . . . . .	24
§ 7. El dieléctrico en el campo eléctrico . . . . .	26
§ 8. Potencial y diferencia de potencial . . . . .	27
§ 9. Capacidad eléctrica . . . . .	30
§ 10. Dieléctricos . . . . .	36
§ 11. Resistividad (resistencia específica) . . . . .	37
§ 12. Permitividad (constante dieléctrica) . . . . .	38
§ 13. Angulo de pérdidas dieléctricas . . . . .	39
§ 14. Rigidez dieléctrica . . . . .	39
§ 15. Principales materiales aislantes . . . . .	40
Problemas . . . . .	46
Preguntas de control . . . . .	47

## II. Leyes fundamentales de la corriente continua

§ 16. Nociones acerca de la corriente eléctrica . . . . .	48
§ 17. Circuito eléctrico y sus elementos . . . . .	49
§ 18. Intensidad y densidad de la corriente . . . . .	50
§ 19. Resistencia y conductividad de los conductores. Dependencia de la resistencia de los conductores de las condiciones físicas . . . . .	51
§ 20. Fuerza electromotriz (f. e. m.) de la fuente de corriente. Tensión . . . . .	56
§ 21. Ley de Ohm . . . . .	58
§ 22. Conexión de conductores entre sí. Primera ley de Kirchhoff . . . . .	65
§ 23. Trabajo y potencia de la corriente eléctrica . . . . .	71
§ 24. Cortocircuito . . . . .	74
§ 25. Segunda ley de Kirchhoff. Aplicación de las leyes de Kirchhoff para calcular los circuitos eléctricos . . . . .	76
§ 26. Método de superposición . . . . .	79
§ 27. Método de la tensión del punto de derivación . . . . .	81
§ 28. Método de las corrientes de circuito . . . . .	84
§ 29. Conductores metálicos . . . . .	87
§ 30. Características principales de los materiales conductores de la corriente . . . . .	88

§ 31. Materiales conductores . . . . .	90
§ 32. Materiales de alta conductividad . . . . .	91
§ 33. Metales empleados en la electrotecnia . . . . .	92
§ 34. Carbón electrotécnico . . . . .	93
§ 35. Aleaciones de alta resistencia . . . . .	93
§ 36. Semiconductores . . . . .	97
Problemas . . . . .	103
Preguntas de control . . . . .	105

### III. Efectos químicos de la corriente eléctrica y las fuentes químicas de corriente

§ 37. Electrólisis . . . . .	106
§ 38. Primera ley de Faraday . . . . .	109
§ 39. Segunda ley de Faraday . . . . .	110
§ 40. Aplicación técnica de la electrólisis . . . . .	112
§ 41. Pilas eléctricas . . . . .	114
§ 42. Acumuladores eléctricos . . . . .	119
§ 43. Acumuladores de plomo . . . . .	119
§ 44. Acumuladores alcalinos . . . . .	122
§ 45. Conexión de los generadores de electricidad . . . . .	123
Problemas . . . . .	127
Preguntas de control . . . . .	128

### IV. Efectos térmicos de la corriente eléctrica

§ 46. Calentamiento del conductor por la corriente eléctrica . . . . .	129
§ 47. Ley de Joule-Lenz . . . . .	129
§ 48. Temperatura de calentamiento del conductor por la corriente eléctrica . . . . .	131
§ 49. Lámparas eléctricas de incandescencia . . . . .	133
§ 50. Arco eléctrico . . . . .	135
§ 51. Soldadura eléctrica . . . . .	137
§ 52. Aparatos eléctricos de calefacción . . . . .	139
§ 53. Relés térmicos . . . . .	140
§ 54. Fusibles . . . . .	141
§ 55. Conexión de los conductores . . . . .	143
§ 56. Termoelectricidad. Pares termoeléctricos . . . . .	143
Problemas . . . . .	144
Preguntas de control . . . . .	145

### V. Electromagnetismo

§ 57. Campo magnético alrededor de un conductor rectilíneo con corriente . . . . .	146
§ 58. Conductor circular con corriente . . . . .	150
§ 59. Solenoide. Electroimán . . . . .	151

§ 60. Ley de la corriente total . . . . .	154
§ 61. Cuerpos ferromagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos . . . . .	157
§ 62. Cuerpos ferromagnéticos en un campo magnético . . . . .	158
§ 63. Histéresis . . . . .	159
§ 64. Circuitos magnéticos y su cálculo . . . . .	161
§ 65. Imanes permanentes . . . . .	164
§ 66. Conductor con corriente en un campo magnético . . . . .	165
§ 67. Principio de acción de un motor eléctrico de corriente continua . . . . .	167
§ 68. Interacción de conductores con corriente . . . . .	168
§ 69. Materiales magnéticos y no magnéticos . . . . .	169
Problemas . . . . .	173
Preguntas de control . . . . .	174

### VI. Inducción electromagnética

§ 70. Obtención de fuerza electromotriz inducida . . . . .	175
§ 71. Dirección y magnitud de la f.e.m. inducida . . . . .	177
§ 72. Principio de funcionamiento de un generador de corriente continua . . . . .	181
§ 73. Ley de Lenz . . . . .	182
§ 74. Corrientes parásitas . . . . .	185
§ 75. F.e.m. de autoinducción e inductancia del circuito . . . . .	188
§ 76. Inducción mutua . . . . .	193
§ 77. Principio de funcionamiento de un transformador . . . . .	196
§ 78. Bobina de inducción . . . . .	197
Problemas . . . . .	198
Preguntas de control . . . . .	198

### VII. Corriente alterna monofásica

§ 79. Obtención de la corriente alterna . . . . .	199
§ 80. Nociones y definiciones principales acerca de la corriente alterna . . . . .	204
§ 81. Magnitudes sinusoidales variables . . . . .	205
§ 82. Frecuencia de la corriente alterna de un generador en función del número de pares de polos y de la velocidad de rotación del rotor . . . . .	210
§ 83. Valor eficaz de la corriente alterna . . . . .	212
§ 84. Valor medio de la corriente alterna . . . . .	214
§ 85. Circuito de corriente alterna con resistencia activa . . . . .	215
§ 86. Circuito de corriente alterna con inductancia . . . . .	217
§ 87. Efecto pelicular . . . . .	224
§ 88. Circuito de corriente alterna con capacidad (condensador) . . . . .	224
§ 89. Conexión en serie de la resistencia activa y la reactancia inductiva ( $R, x_L$ ) . . . . .	227
§ 90. Triángulo de tensiones . . . . .	230
§ 91. Triángulo de impedancia . . . . .	230
§ 92. Ley de Ohm para un circuito con resistencia activa e inductancia ( $R, L$ ) . . . . .	232
§ 93. Conexión en serie de una resistencia activa y una capacidad ( $R, C$ ) . . . . .	234

§ 94. Conexión en serie de una resistencia activa, una inductancia y una capacidad ( $R, L, C$ ) . . . . .	236
§ 95. Conductancia en un circuito de corriente alterna . . . . .	239
§ 96. Derivación de un circuito de corriente alterna . . . . .	240
§ 97. Circuito oscilante . . . . .	245
§ 98. Triángulo de potencias . . . . .	248
§ 99. Factor de potencia («coseno $\phi$ ») . . . . .	251
§ 100. Necesidad de aumentar el «coseno $\phi$ » de los consumidores . . . . .	253
§ 101. Causas que influyen sobre la magnitud del «coseno $\phi$ » del consumidor y medidas que se adoptan para aumentar el «coseno $\phi$ »	255
P r o b l e m a s . . . . .	258
P r e g u n t a s d e c o n t r o l . . . . .	259

### VIII. Corriente alterna trifásica

§ 102. Corrientes polifásicas . . . . .	260
§ 103. Corriente alterna trifásica . . . . .	260
§ 104. Conexión en estrella . . . . .	264
§ 105. Conexión en triángulo . . . . .	271
§ 106. Potencia de la corriente alterna trifásica . . . . .	276
§ 107. Creación de un campo magnético giratorio mediante la corriente trifásica . . . . .	278
P r o b l e m a s . . . . .	280
P r e g u n t a s d e c o n t r o l . . . . .	281

### IX. Transformadores

§ 108. Nociones generales sobre los transformadores . . . . .	282
§ 109. Trabajo en vacío del transformador . . . . .	286
§ 110. Carga del transformador . . . . .	289
§ 111. Ensayos sobre el trabajo en vacío y el cortocircuito del transformador . . . . .	292
§ 112. Papel del transformador en la transmisión de la energía eléctrica a distancia . . . . .	294
§ 113. Construcción y tipos de transformadores . . . . .	296
§ 114. Transformadores trifásicos . . . . .	301
§ 115. Trabajo en paralelo de los transformadores . . . . .	303
§ 116. Autotransformadores . . . . .	306
P r o b l e m a s . . . . .	311
P r e g u n t a s d e c o n t r o l . . . . .	311

### X. Motores asincrónicos o de inducción

§ 117. Generalidades . . . . .	312
§ 118. Principio de funcionamiento del motor asincrónico . . . . .	313
§ 119. Par de arranque de un motor asincrónico . . . . .	316
§ 120. Motor asincrónico con rotor de jaula de ardilla . . . . .	322

§ 121. Motor asincrónico de rotor bobinado . . . . .	327
§ 122. Propiedades de los motores asincrónicos y su empleo . . . . .	329
§ 123. Disposición de los devanados del estator y del rotor en los motores asincrónicos . . . . .	330
§ 124. Motores asincrónicos monofásicos . . . . .	333
Preguntas de control . . . . .	334

### XI. Máquinas sincrónicas

§ 125. Generadores (alternadores) sincrónicos . . . . .	335
§ 126. Estructura de los alternadores sincrónicos . . . . .	336
§ 127. Reacción del inducido del alternador sincrónico . . . . .	342
§ 128. Características de los alternadores sincrónicos . . . . .	344
§ 129. Funcionamiento en paralelo de alternadores sincrónicos . . . . .	347
§ 130. Estructura y funcionamiento de un motor sincrónico . . . . .	350
§ 131. Propiedades de los electromotores sincrónicos y esfera de suempleo . . . . .	352
Preguntas de control . . . . .	353

### XII. Máquinas de corriente continua

§ 132. Estructura del generador de corriente continua . . . . .	354
§ 133. Empleo y estructura del colector en los generadores de corriente continua . . . . .	358
§ 134. Devanado del inducido . . . . .	363
§ 135. Magnitud de la f.e.m. inducida en el inducido del generador de corriente continua . . . . .	369
§ 136. Reacción del inducido. Conmutación. Polos auxiliares (de conmutación) . . . . .	370
§ 137. Tipos de generadores de corriente continua . . . . .	375
§ 138. Generador con excitación independiente . . . . .	376
§ 139. Generador con excitación en derivación . . . . .	380
§ 140. Generador con excitación en serie . . . . .	383
§ 141. Generador con excitación compuesta (compound) . . . . .	384
§ 142. Trabajo en paralelo de los generadores con excitación en derivación . . . . .	386
§ 143. Funcionamiento de una máquina de corriente continua como motor eléctrico . . . . .	388
§ 144. Empleo del colector en los motores eléctricos de corriente continua . . . . .	389
§ 145. Fuerza contraelectromotriz del inducido . . . . .	390
§ 146. Regulación de la velocidad de rotación de los motores de corriente continua . . . . .	393
§ 147. Reacción del inducido de motores de corriente continua . . . . .	394
§ 148. Motor con excitación en derivación . . . . .	395
§ 149. Motor con excitación en serie . . . . .	398
§ 150. Motor con excitación compuesta . . . . .	400
§ 151. Convertidores rotatorios . . . . .	401
Preguntas de control . . . . .	405

### XIII. Rectificadores

§ 152. Nociones generales sobre rectificadores . . . . .	406
§ 153. Rectificadores de óxido de cobre . . . . .	407
§ 154. Rectificadores de selenio . . . . .	408
§ 155. Rectificador semiconductor de germanio . . . . .	409
§ 156. Esquema de conexión de rectificadores metálicos . . . . .	411
§ 157. Kenotró (válvula rectificadora) . . . . .	413
§ 158. Rectificadores de vapor de mercurio de ampolla de vidrio . . . . .	417
§ 159. Rectificadores de vapor de mercurio de tanque metálico . . . . .	422
Preguntas de control . . . . .	425

### XIV. Instrumentos eléctricos de medición y técnica de mediciones eléctricas

§ 160. Consideraciones generales sobre instrumentos de medición eléctricos . . . . .	428
§ 161. Clasificación de instrumentos eléctricos de medición . . . . .	431
§ 162. Instrumentos magnetoeléctricos de medición . . . . .	431
§ 163. Instrumentos electromagnéticos de medición . . . . .	434
§ 164. Instrumentos electrodinámicos de medición . . . . .	436
§ 165. Instrumentos térmicos de medición . . . . .	437
§ 166. Instrumentos inductivos de medición . . . . .	439
§ 167. Instrumentos de sistema termoelectrico . . . . .	442
§ 168. Instrumentos de sistema detector . . . . .	443
§ 169. Instrumentos de sistema de resonancia . . . . .	444
§ 170. Transformadores de medición . . . . .	445
§ 171. Transformadores de tensión . . . . .	447
§ 172. Transformadores de intensidad . . . . .	452
§ 173. Medición de la intensidad de la corriente en el circuito . . . . .	456
§ 174. Medición de diferencias de potencial . . . . .	457
§ 175. Reóstato . . . . .	458
§ 176. Medición de la potencia eléctrica activa . . . . .	461
§ 177. Medición de la energía eléctrica activa . . . . .	468
§ 178. Medición de la energía reactiva . . . . .	471
§ 179. Medición del factor de potencia . . . . .	473
§ 180. Medición de resistencias . . . . .	475
Problemas . . . . .	482
Preguntas de control . . . . .	483

### XV. Accionamiento eléctrico

§ 181. Nociones generales . . . . .	484
§ 182. Características de los motores eléctricos . . . . .	486
§ 183. Régimen de trabajo de los motores eléctricos . . . . .	486
§ 184. Aislamiento de las máquinas eléctricas . . . . .	488
§ 185. Diseños de las máquinas eléctricas . . . . .	488

§ 186. Refrigeración de las máquinas eléctricas . . . . .	489
§ 187. Clasificación de los motores según la característica mecánica (de velocidad) . . . . .	489
§ 188. Selección de la potencia de los motores . . . . .	490
§ 189. Protección de los motores eléctricos . . . . .	495
§ 190. Protección de los motores eléctricos mediante fusibles . . . . .	495
§ 191. Protección de los motores eléctricos mediante interruptores automáticos . . . . .	497
§ 192. Protección de los motores eléctricos mediante relés térmicos . . . . .	498
§ 193. Aparatos de mando de los motores eléctricos . . . . .	499
§ 194. Interruptores de cuchilla, conmutadores e interruptores de paquete . . . . .	499
§ 195. Contactores . . . . .	502
§ 196. Combinadores o controllers . . . . .	503
§ 197. Botones de mando . . . . .	505
§ 198. Arrancadores magnéticos . . . . .	505
§ 199. Arranque de los motores asincrónicos . . . . .	508
§ 200. Arranque de los motores sincrónicos . . . . .	513
§ 201. Cambio de la dirección de rotación de los motores eléctricos (reversión) . . . . .	515
§ 202. Regulación de la velocidad de rotación de los motores eléctricos . . . . .	517
§ 203. Esquemas especiales de arranque y de regulación de la velocidad de rotación de los motores de corriente continua de gran potencia . . . . .	520
§ 204. Frenado de los motores eléctricos . . . . .	522
§ 205. Esquemas de control de los motores eléctricos mediante aparatos electromagnéticos . . . . .	526
§ 206. Control de los motores eléctricos por medio de combinadores . . . . .	522
Preguntas de control . . . . .	534

### XVI. Baterías de acumuladores

§ 207. Generalidades . . . . .	535
§ 208. Conmutadores de elementos . . . . .	539
§ 209. Consumidores de baterías de acumuladores . . . . .	539
§ 210. Dispositivos de carga . . . . .	540
§ 211. Régimenes de trabajo de baterías de acumuladores . . . . .	541
§ 212. Local para baterías de acumuladores . . . . .	546
Preguntas de control . . . . .	546

### XVII. Técnica de seguridad en las instalaciones eléctricas

§ 213. Reglas generales de la técnica de seguridad . . . . .	547
§ 214. Lesiones provocadas por la corriente eléctrica . . . . .	549
§ 215. Reglas para prestar los primeros auxilios a los accidentados por la corriente eléctrica . . . . .	550