

---

# Índice general

---

## CAPÍTULO 1

---

### EL MODELO ELECTROMAGNÉTICO 2

---

- 1-1 Descripción general 2
- 1-2 El modelo electromagnético 4
- 1-3 Unidades en el SI y constantes universales 8
- Resumen 10

## CAPÍTULO 2

---

### ANÁLISIS VECTORIAL 12

---

- 2-1 Descripción general 12
- 2-2 Suma y resta de vectores 14
- 2-3 Multiplicación de vectores 16
  - 2-3.1 Producto punto o escalar 16
  - 2-3.2 Producto cruz o vectorial 18
  - 2-3.3 Productos de tres vectores 19
- 2-4 Sistemas de coordenadas ortogonales 21
  - 2-4.1 Coordenadas cartesianas 22
  - 2-4.2 Coordenadas cilíndricas 28
  - 2-4.3 Coordenadas esféricas 33
- 2-5 Gradiente de un campo escalar 39
- 2-6 Divergencia de un campo vectorial 43
- 2-7 Teorema de la divergencia 48
- 2-8 Rotacional de un campo vectorial 52
- 2-9 Teorema de Stokes 59
- 2-10 Dos identidades nulas 62
  - 2-10.1 Identidad I 62
  - 2-10.2 Identidad II 63
- 2-11 Clasificación de campos y teorema de Helmholtz 64
  - Resumen 66
  - Problemas 67

---

## CAPÍTULO 3 CAMPOS ELÉCTRICOS ESTÁTICOS 72

---

- 3-1 Descripción general 72
- 3-2 Postulados fundamentales de la electrostática en el espacio libre 74
- 3-3 Ley de Coulomb 76
  - 3-3.1 Campo eléctrico debido a un sistema de cargas discretas 81
  - 3-3.2 Campo eléctrico debido a una distribución continua de carga 81
- 3-4 Ley de Gauss y aplicaciones 85
- 3-5 Potencial eléctrico 90
  - 3-5.1 Potencial eléctrico debido a una distribución de carga 92
- 3-6 Medios materiales en un campo eléctrico estático 97
  - 3-6.1 Conductores en un campo eléctrico estático 98
  - 3-6.2 Dieléctricos en un campo eléctrico estático 102
- 3-7 Densidad de flujo eléctrico y constante dieléctrica 105
  - 3-7.1 Rigidez dieléctrica 108
- 3-8 Condiciones en la frontera para campos electrostáticos 111
- 3-9 Capacitancias y condensadores 116
- 3-10 Energía y fuerzas electrostáticas 120
  - 3-10.1 Energía electrostática en términos de cantidades de campo 123
  - 3-10.2 Fuerzas electrostáticas 126
- 3-11 Resolución de problemas electrostáticos con valores en la frontera 128
  - 3-11.1 Ecuaciones de Poisson y de Laplace 129
  - 3-11.2 Problemas con valores en la frontera en coordenadas cartesianas 130
  - 3-11.3 Problemas con valores en la frontera en coordenadas cilíndricas 132
  - 3-11.4 Problemas con valores en la frontera en coordenadas esféricas 134
  - 3-11.5 Método de imágenes 136
- Resumen 143
- Problemas 143

---

## CAPÍTULO 4 CORRIENTES ELÉCTRICAS ESTACIONARIAS 150

---

- 4-1 Descripción general 150
- 4-2 Densidad de corriente y ley de Ohm 151
- 4-3 Ecuación de continuidad y ley de la corriente de Kirchhoff 157
- 4-4 Disipación de potencia y ley de Joule 159
- 4-5 Ecuaciones para la densidad de corriente estacionaria 160
- 4-6 Cálculos de resistencia 162
  - Resumen 166
  - Problemas 167

---

## CAPÍTULO 5 CAMPOS MAGNÉTICOS ESTÁTICOS 170

---

- 5-1 Descripción general 170
- 5-2 Postulados fundamentales de la magnetostática en el espacio libre 172
- 5-3 Potencial magnético vector 178
- 5-4 Ley de Biot-Savart y aplicaciones 180
- 5-5 El dipolo magnético 186
- 5-6 Magnetización y densidades de corriente equivalentes 190
- 5-7 Intensidad de campo magnético y permeabilidad relativa 194
- 5-8 Comportamiento de los materiales magnéticos 196
- 5-9 Condiciones en la frontera para campos magnetostáticos 199
- 5-10 Inductancias e inductores 201
- 5-11 Energía magnética 210
  - 5-11.1 Energía magnética en términos de cantidades de campo 211
- 5-12 Fuerzas y pares magnéticos 214
  - 5-12.1 Fuerzas y pares en conductores por los que circulan corrientes 214
  - 5-12.2 Motores de corriente continua 219
  - 5-12.3 Fuerzas y pares en términos de la energía magnética almacenada 220
- Resumen 223
- Problemas 223

## CAPÍTULO 6 CAMPOS VARIABLES CON EL TIEMPO Y ECUACIONES DE MAXWELL 228

---

- 6-1 Descripción general 228
- 6-2 Ley de Faraday de la inducción electromagnética 230
  - 6-2.1 Circuito estacionario en un campo magnético variable con el tiempo 231
  - 6-2.2 Transformadores 232
  - 6-2.3 Conductor móvil en un campo magnético 235
  - 6-2.4 Circuito móvil en un campo magnético variable con el tiempo 239
- 6-3 Ecuaciones de Maxwell 243
  - 6-3.1 Forma integral de las ecuaciones de Maxwell 245
  - 6-3.2 Condiciones electromagnéticas en la frontera 248
- 6-4 Funciones de potencial 251
  - 6-4.1 Resolución de ecuaciones de onda 253
- 6-5 Campos con dependencia armónica con el tiempo 255
  - 6-5.1 Uso de fasores: repaso 255
  - 6-5.2 Electromagnetismo con dependencia armónica con el tiempo 259
  - 6-5.3 El espectro electromagnético 263
- Resumen 267
- Problemas 268

---

## CAPÍTULO 7

### ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PLANAS 272

---

- 7-1 Descripción general 272
- 7-2 Ondas planas en medios sin pérdidas 273
  - 7-2.1 Efecto Doppler 279
  - 7-2.2 Ondas transversales electromagnéticas 281
  - 7-2.3 Polarización de ondas planas 283
- 7-3 Ondas planas en medios con pérdidas 287
  - 7-3.1 Dieléctricos de pequeñas pérdidas 290
  - 7-3.2 Buenos conductores 291
- 7-4 Velocidad de grupo 296
- 7-5 Flujo de potencia electromagnética y vector de Poynting 298
  - 7-5.1 Densidades de potencia instantánea y media 301
- 7-6 Incidencia normal de ondas planas sobre planos de discontinuidad 304
  - 7-6.1 Incidencia normal sobre un buen conductor 309
- 7-7 Incidencia oblicua de ondas planas sobre planos de discontinuidad 313
  - 7-7.1 Reflexión total 315
  - 7-7.2 La ionosfera 319
  - 7-7.3 Polarización perpendicular 321
  - 7-7.4 Polarización paralela 325
  - 7-7.5 Ángulo de Brewster de no reflexión 327
- Resumen 330
- Problemas 330

## CAPÍTULO 8

### LÍNEAS DE TRANSMISIÓN 336

---

- 8-1 Descripción general 336
- 8-2 Ecuaciones generales de la línea de transmisión 338
- 8-3 Parámetros de las líneas de transmisión 341
  - 8-3.1 Líneas microtira 346
- 8-4 Características de la onda en una línea de transmisión infinita 347
  - 8-4.1 Constante de atenuación a partir de las relaciones de potencia 351
- 8-5 Características de la onda en líneas de transmisión finitas 353
  - 8-5.1 Líneas en circuito abierto y en cortocircuito 356
  - 8-5.2 Impedancia característica y constante de propagación a partir de mediciones en la entrada 357
  - 8-5.3 Coeficiente de reflexión y razón de onda estacionaria 366
- 8-6 El diagrama de Smith 366
  - 8-6.1 Admitancias en el diagrama de Smith 374
- 8-7 Acoplo de impedancias en líneas de transmisión 377
- Resumen 381
- Problemas 382

---

## CAPÍTULO 9 **GUÍAS DE ONDAS Y CAVIDADES RESONANTES 386**

---

- 9-1 Descripción general 386
- 9-2 Comportamiento general de las ondas en estructuras de guías uniformes 387
  - 9-2.1 Ondas transversales electromagnéticas 390
  - 9-2.2 Ondas transversales magnéticas 391
  - 9-2.3 Ondas transversales eléctricas 394
- 9-3 Guías de ondas rectangulares 400
  - 9-3.1 Ondas transversales magnéticas en guías de ondas rectangulares 400
  - 9-3.2 Ondas transversales eléctricas en guías de ondas rectangulares 404
  - 9-3.3 Atenuación en guías de ondas rectangulares 409
- 9-4 Otros tipos de guías de ondas 413
- 9-5 Cavidades resonantes 414
  - 9-5.1 Cavidades resonantes rectangulares 415
  - 9-5.2 Factor de calidad de las cavidades resonantes 419
- Resumen 422
- Problemas 423

---

## CAPÍTULO 10 **ANTENAS Y SISTEMAS DE ANTENAS 426**

---

- 10-1 Descripción general 426
- 10-2 El dipolo eléctrico elemental 428
- 10-3 Diagramas de antenas y directividad 430
- 10-4 Antenas lineales delgadas 436
  - 10-4.1 El dipolo de media onda 439
- 10-5 Sistemas de antenas 442
  - 10-5.1 Sistemas de dos elementos 442
  - 10-5.2 Sistemas lineales uniformes generales 446
- 10-6 Área efectiva y sección recta de retrodispersión 451
  - 10-6.1 Área efectiva 452
  - 10-6.2 Sección recta de retrodispersión 454
- 10-7 Fórmula de transmisión de Friis y ecuación del radar 455
- Resumen 460
- Problemas 460

---

## APÉNDICES **A SÍMBOLOS Y UNIDADES**

---

- A-1 Unidades fundamentales en el SI (MKSA racionalizado) 465
- A-2 Cantidades derivadas 466
- A-3 Múltiplos y submúltiplos de unidades 468

---

## **B ALGUNAS CONSTANTES MATERIALES ÚTILES**

---

- B-1 Constantes del espacio libre 469
- B-2 Constantes físicas del electrón y el protón 469
- B-3 Permitividades relativas (constantes dieléctricas) 470
- B-4 Conductividades 470
- B-5 Permeabilidades relativas 471

---

## **C**

---

- C-1 Algunas identidades vectoriales útiles 473
- C-2 Operaciones de gradiente, divergencia, rotacional y laplaciano 474
- C-3 Espectro de las ondas electromagnéticas 476

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

---

## **RESPUESTAS A PROBLEMAS CON NÚMERO IMPAR**

---

---

## **ÍNDICE DE MATERIAS**

---