

Índice

Prólogo	13
Introducción	17
El electromagnetismo en el vacío: campos y fuentes	18
El electromagnetismo en medios materiales: relaciones constitutivas . . .	20
Las idealizaciones del electromagnetismo macroscópico	24
El electromagnetismo y la mecánica cuántica	25
1 El campo electrostático	29
1.1. El campo electrostático en el vacío	29
1.1.1. Ley de Coulomb y principio de superposición	29
1.1.2. El campo electrostático	31
1.1.3. Formulación diferencial de las ecuaciones del campo	33
1.1.4. El potencial electrostático	34
1.1.5. Ejemplos de problemas de sumación	37
1.1.6. Formulación integral de las ecuaciones del campo. Ley de Gauss	45
1.1.7. Conductores y dieléctricos	48
1.2. Distribuciones de carga	52
1.2.1. Desarrollo multipolar del potencial creado por una distribución de carga	52
1.2.2. El dipolo eléctrico y la capa dipolar	55
1.3. El campo electrostático en medios dieléctricos	59
1.3.1. Formulación del problema	59
1.3.2. Vector polarización. Cargas de polarización	60
1.3.3. El vector desplazamiento eléctrico	63
1.3.4. Relaciones constitutivas. Susceptibilidad y permitividad eléctrica	64
1.3.5. Condiciones en la frontera entre dos dieléctricos	68
1.4. Propiedades del potencial electrostático	71
1.4.1. Teorema de Green. Representación integral del potencial . .	71
1.4.2. Unicidad de solución del problema electrostático	75
1.4.3. Sistemas de conductores	78

2	El campo magnetostático	81
2.1.	Corriente eléctrica	81
2.2.	El campo magnetostático en el vacío	87
2.2.1.	Ley de Ampère. Vector \mathbf{B}	87
2.2.2.	Ecuaciones del campo magnetostático	90
2.2.3.	El potencial vector	92
2.2.4.	Desarrollo multipolar del potencial vector creado por una distribución de corriente. Dipolo magnético	93
2.2.5.	El potencial escalar magnético	95
2.2.6.	Otros ejemplos de problemas de sumación	98
2.3.	El campo magnetostático en medios materiales	103
2.3.1.	Formulación del problema	103
2.3.2.	Vector imanación. Corrientes de imanación	104
2.3.3.	Ecuaciones del campo. Vector \mathbf{H}	107
2.3.4.	Relaciones constitutivas. Susceptibilidad y permeabilidad magnética	108
2.3.5.	Condiciones en la frontera entre dos medios magnéticos	112
2.4.	Propiedades del potencial vector	117
2.4.1.	Teorema vectorial de Green. Representación integral del potencial vector	117
2.4.2.	Unicidad de la solución del problema magnetostático	119
3	Problemas de contorno.	
	Métodos generales de solución	121
3.1.	Funciones de Green	122
3.1.1.	Solución formal del problema electrostático	122
3.1.2.	Determinación de la función de Green. Método de imágenes	124
3.1.3.	Transformación de inversión	133
3.2.	Separación de variables	136
3.2.1.	Separación de variables en coordenadas cartesianas	137
3.2.2.	Separación de variables en coordenadas cilíndricas	139
3.2.3.	Separación de variables en coordenadas esféricas	141
3.2.4.	Generalización del potencial axial en problemas con simetría azimutal	146
3.3.	Desarrollo de la función de Green en autofunciones	148
3.3.1.	Desarrollo de la función de Green en coordenadas cartesianas	150
3.3.2.	Desarrollo de la función de Green en coordenadas cilíndricas	151
3.3.3.	Desarrollo de la función de Green en coordenadas esféricas	153

4	Problemas de contorno bidimensionales	157
4.1.	Funciones de Green bidimensionales	157
4.1.1.	Relaciones de Green en dos dimensiones	157
4.1.2.	Funciones de Green complejas	160
4.1.3.	Determinación de la función de Green. Método de imágenes	164
4.2.	Transformaciones conformes	170
4.2.1.	Transformación de Schwarz-Christoffel	172
4.3.	Separación de variables en dos dimensiones	176
5	Problemas de contorno y métodos numéricos	183
5.1.	Métodos basados en un planteamiento diferencial	183
5.1.1.	Método de diferencias finitas	183
5.1.2.	Coefficientes y funciones numéricas de Green	188
5.1.3.	El método de Monte Carlo	189
5.2.	Métodos basados en un planteamiento integral	192
5.3.	Métodos basados en un planteamiento variacional	198
5.3.1.	El método de elementos finitos	198
5.4.	Extensión a problemas con varios medios	205
6	Campos variables con el tiempo.	
	Ondas electromagnéticas	213
6.1.	Ecuaciones de Maxwell	213
6.1.1.	Ley de inducción de Faraday	213
6.1.2.	Corriente de desplazamiento	220
6.2.	Potenciales electromagnéticos. Transformaciones de <i>gauge</i>	225
6.3.	Ondas electromagnéticas	230
6.3.1.	Ondas planas en medios no conductores	230
6.3.2.	Ondas planas en medios conductores	234
6.3.3.	Función de Green para la ecuación de onda con fuentes	241
6.4.	El problema de sumación para corrientes armónicas	243
6.4.1.	Origen de las aproximaciones	243
6.4.2.	El dipolo oscilante	249
7	Energía y fuerzas en el campo electromagnético	255
7.1.	Energía en sistemas electrostáticos	255
7.1.1.	Energía de formación de una distribución de cargas en el vacío	255
7.1.2.	Energía de interacción de una distribución de carga con un campo externo	259
7.1.3.	Energía de un sistema de conductores	260

7.1.4.	Energía electrostática en medios dieléctricos	262
7.1.5.	Interpretación termodinámica de la energía electrostática	264
7.2.	Fuerzas en sistemas electrostáticos	265
7.2.1.	Expresiones de la fuerza a partir de la energía	265
7.2.2.	El tensor eléctrico de Maxwell	268
7.2.3.	Fuerza sobre conductores	271
7.2.4.	Fuerza sobre dieléctricos	272
7.3.	Energía en sistemas magnetostáticos	274
7.3.1.	Energía magnetostática de una distribución de corriente	274
7.3.2.	Energía de un cuerpo en un campo magnetostático	279
7.4.	Fuerzas en sistemas magnetostáticos	280
7.4.1.	Expresiones de la fuerza a partir de la energía	281
7.5.	Energía electromagnética	283
7.5.1.	Teorema de Poynting	283
7.5.2.	Teorema de unicidad para los campos	290
7.5.3.	El teorema de Poynting en situaciones armónicas	291
7.5.4.	Momento del campo electromagnético	296
8	Formulación relativista de las ecuaciones del campo electromagnético	299
8.1.	De la relatividad de Galileo a la de Einstein	299
8.1.1.	Bases físicas de las transformaciones de Lorentz	299
8.1.2.	Las transformaciones de Lorentz	301
8.1.3.	Intervalo y cono de luz	303
8.2.	Propiedades matemáticas del espacio-tiempo en la relatividad especial	307
8.2.1.	Cuadrivectores y cuadritensores	307
8.2.2.	Representación matricial de las transformaciones de Lorentz	310
8.3.	Las ecuaciones del electromagnetismo en forma invariante Lorentz	312
8.3.1.	Transformación de fuentes. Ecuación de continuidad	313
8.3.2.	Transformación de potenciales	314
8.3.3.	El tensor campo electromagnético	316
8.3.4.	Forma covariante de las ecuaciones de Maxwell	320
A	La función delta de Dirac	327
B	Teoremas y fórmulas del análisis vectorial	331
B.1.	Teoremas del cálculo vectorial	331
B.2.	Operadores diferenciales en distintos sistemas de coordenadas	332
B.3.	Teorema de Helmholtz	333
B.4.	Algunas fórmulas notables del cálculo vectorial	334

C Funciones especiales	335
C.1. Polinomios de Legendre	335
C.2. Funciones asociadas de Legendre	337
C.3. Armónicos esféricos	339
C.4. Función gamma de Euler	341
C.5. Funciones de Bessel	343
D Unidades y dimensiones en electromagnetismo	347
D.1. Unidades fundamentales y derivadas	347
D.2. Unidades electromagnéticas	348
D.3. Los diferentes sistemas de unidades electromagnéticas	351
D.4. Conversión entre el Sistema Internacional y el de Gauss	353
Referencias	355
Índice de materias	357