

INDICE

Capítulo 1. El Modelo Electromagnético	2
1.1. Descripción general	2
1.2. El modelo electromagnético	4
1.3. Unidades en 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 Electrónicos 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 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 densidad 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. Fuerza 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 favores: 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 línea 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 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
Apéndice 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. Permeabilidad 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	