



Índice general

1. Ecuaciones macroscópicas de Maxwell	1
1.1. Ecuaciones macroscópicas de Maxwell	1
1.2. Significado de las ecuaciones de Maxwell	5
1.2.1. Ecuaciones constitutivas	7
1.3. Clasificación de los medios	16
1.4. Condiciones de continuidad de los campos	20
1.5. Teoremas de conservación de energía y momento	26
1.5.1. Conservación de la energía. Teorema de Poynting	26
1.5.2. Momento lineal del campo electromagnético	29
1.6. Campos que varían armónicamente con el tiempo	34
1.6.1. Ecuaciones de Maxwell para campos armónicos	36
1.6.2. Permitividad eléctrica compleja	37
1.6.3. Energía almacenada y disipada	40
1.7. Dependencia con la frecuencia de la permitividad	45
1.7.1. Ecuaciones de relajación de Debye	46
1.7.2. Fenómenos de resonancia	50





1.8. Condiciones de frontera para señales armónicas	53
1.9. Vector complejo de Poynting	54
1.10. Sobre la solución de las ecuaciones de Maxwell	57
2. Fundamentos de la radiación	59
2.1. Potenciales electromagnéticos	59
2.1.1. Condición de Lorenz	63
2.1.2. Condición de Coulomb	65
2.1.3. Ecuación de ondas no homogénea para los campos	66
2.2. Potenciales retardados. Método de Green	67
2.3. Campo electromagnético	72
2.3.1. Campo de radiación	79
2.3.2. Campos creados por un elemento diferencial de corriente	84
2.3.3. Aproximaciones para los potenciales en la zona de campo lejano	91
2.4. Desarrollo multipolar de los potenciales	93
2.4.1. Radiación dipolar eléctrica	95
2.4.2. Radiación dipolar magnética	98
2.4.3. Radiación cuadrupolar eléctrica	101
2.5. Partícula cargada en movimiento arbitrario	104
2.5.1. Potenciales de Liénard-Wiechert	104
2.5.2. Campos creados por una carga puntual	108
2.5.3. Distribución angular de la energía radiada	115
2.5.4. Fórmula de Larmor	126





3. Ondas electromagnéticas	129
3.1. Ecuación de ondas	129
3.2. Ondas armónicas	133
3.2.1. Ondas armónicas planas	136
3.2.2. Propagación en medios sin pérdidas	138
3.2.3. Propagación en buenos dieléctricos	139
3.2.4. Propagación en buenos conductores	141
3.2.5. Resistencia superficial	142
3.3. Velocidad de grupo	143
3.3.1. Caso particular	144
3.3.2. Caso general	146
3.4. Polarización	149
4. Reflexión y transmisión de ondas planas	153
4.1. Incidencia Normal	154
4.1.1. Caso general de dos medios con pérdidas	154
4.1.2. Ondas estacionarias	160
4.1.3. Estructuras multicapa	167
4.1.4. Régimen transitorio	170
4.1.5. Régimen estacionario	171
4.2. Incidencia oblicua	177
4.2.1. Campo eléctrico incidente contenido en el plano de incidencia	180
4.2.2. Campo eléctrico perpendicular al plano de incidencia	184





4.3. Relaciones de Fresnel	186
4.3.1. Caso $N_1 < N_2$	187
4.3.2. Caso $N_1 > N_2$. Reflexión total interna. Ondas superficiales	188
4.3.3. Potencia transmitida y reflejada	193
5. Ondas planas en medios anisótropos	197
5.1. Propagación en medios anisótropos	198
5.1.1. Sistema de coordenadas principales	200
5.2. Propagación en cristales anisótropos	203
5.2.1. Relación de dispersión. Cristales uniaxiales	207
5.3. Propagación en plasmas	211
5.3.1. Propagación de ondas armónicas planas en un plasma frío no magnetizado.	213
5.4. Propagación en un plasma frío magnetizado	221
5.4.1. Propagación paralela y perpendicular al campo magnético externo \vec{B}_0	225
5.4.2. Resumen de las curvas de dispersión en un plasma frío . .	232
6. Ondas electromagnéticas guiadas	235
6.1. Sistemas de transmisión guiada	235
6.2. Relaciones generales	239
6.3. Modos TE y TM	242
6.3.1. Modos transversales magnéticos (TM)	242
6.3.2. Modos transversales eléctricos (TE)	243





6.3.3.	Condiciones de contorno para los modos TE y TM en guías conductoras	244
6.3.4.	Frecuencia de corte	246
6.4.	Atenuación en guías	249
6.4.1.	Pérdidas en el dieléctrico	250
6.4.2.	Pérdidas en las paredes	251
6.5.	Modos TEM o de líneas de transmisión	253
6.5.1.	Ecuaciones de la línea de transmisión	254
7.	Guía de ondas rectangular y circular	261
7.1.	Guía de ondas rectangular	261
7.1.1.	Modos TM en una guía rectangular	262
7.1.2.	Modos TE en una guía rectangular	264
7.1.3.	Frecuencias de corte en una guía de ondas rectangular	267
7.1.4.	Modo dominante TE_{10}	268
7.1.5.	Atenuación en guías de ondas rectangulares	270
7.2.	Guía de ondas circular	273
7.2.1.	Modos TM en una guía de ondas circular	273
7.2.2.	Modos TE en guías de ondas circulares	277
7.2.3.	Frecuencia de corte	279
7.2.4.	Atenuación en guía de ondas circulares	280
7.2.5.	Línea coaxial. Propagación de modos TE y TM	281
7.3.	Cavidades resonantes	283
7.3.1.	Cavidad resonante rectangular. Modos TE_{mnp}	284





8. Líneas de transmisión	289
8.1. Propagación de ondas armónicas	290
8.2. Línea ideal	293
8.2.1. Coeficiente de reflexión	296
8.2.2. Analogía entre líneas de transmisión e incidencia normal .	300
8.2.3. Potencia y energía en líneas sin pérdidas	300
8.3. Carta de Smith	301
8.3.1. Fundamento y construcción de la carta de Smith	301
8.3.2. Construcción de la carta de Smith	302
8.4. Aplicaciones de la carta de Smith	305
8.4.1. Transferencia de impedancias	307
8.4.2. Razón de onda estacionaria	309
8.4.3. Carta de Smith para admitancias	310
8.5. Adaptación de impedancias	313
8.5.1. Adaptador cuarto de onda	313
9. Teoremas fundamentales	319
9.1. Ecuaciones simétricas de Maxwell	319
9.1.1. Variaciones armónicas	327
9.1.2. Campo creado por un elemento infinitesimal de corriente magnética	328
9.2. Teorema de unicidad	330
9.2.1. Campo electromagnético con variación temporal arbitraria	330
9.2.2. Campos armónicos	332





<i>ÍNDICE GENERAL</i>	XIII
9.3. Teoría de imágenes	333
9.4. Teorema de reciprocidad de Lorentz	338
9.5. Teorema de equivalencia	340
9.5.1. Equivalente de Love	342
10. Fundamentos de antenas	351
10.1. Introducción	351
10.2. Antena dipolo recto de hilo delgado	352
10.2.1. Antena de onda viajera de hilo delgado	360
10.3. Análisis en el dominio del tiempo	365
10.3.1. Antena de onda viajera de hilo recto delgado	366
10.4. Otros parámetros de antenas	373
10.5. Antenas sobre un plano de tierra	380
10.6. Principio de reciprocidad y antenas	381
10.7. Antenas de abertura	383
10.8. Abertura rectangular	385
10.9. Abertura rectangular uniforme	389
10.9.1. Abertura rectangular uniforme en una superficie plana conductora perfecta	399
10.9.2. Abertura rectangular iluminada por una guía rectangular	400
10.10. Agrupación de antenas	404
10.10.1. Multiplicación de diagramas de radiación. Factor de agrupación	406
10.10.2. Agrupación lineal uniformemente espaciada	409





I Apéndices	417
A. Fórmulas y datos útiles	419
A.1. Sistemas de coordenadas	419
A.2. Transformación de coordenadas	420
A.3. Operadores vectoriales diferenciales	422
A.4. Relaciones entre operadores vectoriales	424
A.5. Teoremas fundamentales del cálculo vectorial	425
A.6. Relaciones trigonométricas básicas	426
A.7. Magnitudes físicas, unidades y símbolos	427
A.8. Propiedades de la delta de Dirac	430
A.9. Constantes físicas	431
A.10. Espectro de frecuencias	432
A.10.1. Nomenclatura IEEE estándar de las bandas de frecuencia del RADAR	433
A.11. Desarrollo en serie	434
A.12. Transformada de Fourier	435

