
CONTENIDO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE MEDIOS
BIBLIOTECA

3520

PROLOGO	xi
1. PRINCIPIOS BASICOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL LASER	1
1.1. La estadística de Boltzmann	1
1.2. Interacción entre la radiación y la materia	2
1.2.1. Procesos elementales en la interacción entre la radiación y la materia	2
1.2.2. Las relaciones de Einstein	4
1.3. Absorción y amplificación de radiación	7
1.3.1. Absorción en medios materiales	7
1.3.2. Inversión de población y amplificación óptica	10
1.3.3. Bombeo del medio activo. Esquemas de 3 y 4 niveles	10
1.4. El resonador óptico	13
1.4.1. La condición umbral de oscilación	14
1.4.2. Cavidades estables e inestables	16
2. PROPIEDADES DE LA EMISION LASER	19
2.1. Monocromaticidad	21
2.2. Coherencia	23
2.2.1. Coherencia temporal	23
2.2.2. Coherencia espacial	25
2.3. Direccionalidad	26
2.4. Polarización	30
2.4.1. Formas de polarización	30
2.4.2. Métodos de polarización	31
2.5. Modos en cavidades resonantes	34
2.5.1. El concepto de modo	34

2.5.2.	Modos en cavidades estables. Modos longitudinales y transversales	34
2.5.3.	El modo TEM ₀₀	39
2.6.	Propagación de haces gaussianos	40
2.6.1.	Ecuaciones de propagación del modo fundamental	40
2.6.2.	Transformación por una lente	41
3.	TIPOS DE LASERES	45
3.1.	Elementos de un generador láser	45
3.1.1.	Medio activo	45
3.1.2.	Mecanismo de excitación	45
3.1.3.	Resonador óptico	46
3.2.	Bombeo y eficiencia láser	46
3.3.	Resumen de los diferentes tipos de láser	48
3.4.	Láseres de medio activo gaseoso	48
3.4.1.	El láser de He-Ne	49
3.4.2.	El láser de CO ₂	51
3.4.2.1.	Estructura de niveles energéticos de la molécula de CO ₂	51
3.4.2.2.	Bombeo del láser de CO ₂	53
3.4.2.3.	Características de los generadores láser	54
3.4.2.4.	Tipos de generadores láser de CO ₂	54
3.5.	Láseres de estado sólido	58
3.5.1.	El láser de Nd-YAG	58
3.6.	Láseres de semiconductor	60
3.7.	Láseres de colorante	64
3.8.	Láseres de excímeros	67
3.9.	Modos de funcionamiento: continuo y pulsado	69
3.9.1.	Funcionamiento continuo	70
3.9.2.	Funcionamiento pulsado	70
3.10.	Conexión de los equipos a la red de suministro eléctrico	72
4.	APLICACIONES DEL LASER AL PROCESADO DE MATERIALES	75
4.1.	Influencia del material y de los parámetros láser	75
4.1.1.	Propiedades del material	75
4.1.2.	Parámetros láser	77
4.2.	Balance energético en la interacción entre el láser y la materia	78
4.3.	Aplicaciones de corte	81
4.3.1.	Descripción del proceso de corte	81
4.3.2.	Factores que influyen en el proceso de corte	82
4.3.3.	Resultados obtenibles	88
4.4.	Aplicaciones de perforado	90
4.4.1.	Perforado por percusión	91
4.4.2.	Trepanado	93

4.5. Aplicaciones de soldadura	94
4.5.1. Soldadura en régimen de conducción y en «keyhole»	94
4.5.2. Requerimientos para la soldadura láser	95
4.5.3. Factores que influyen en el proceso de soldadura	99
4.5.4. Resultados obtenibles	102
4.6. Aplicaciones de temple	103
4.6.1. Fundamentos del temple con láser	104
4.6.2. Factores que influyen	106
4.6.3. Resultados obtenibles	107
4.7. Recubrimiento y aleación superficial	108
4.7.1. Recubrimiento con láser	108
4.7.2. Aleación con láser	110
4.8. Marcado	111
5. OTRAS APLICACIONES DEL LASER	115
5.1. Aplicaciones del láser en telecomunicaciones	115
5.1.1. Fibras ópticas	116
5.1.2. Modulación y amplificación	119
5.1.3. Generaciones de sistemas ópticos de telecomunicación.	120
5.2. Holografía	121
5.2.1. Interferometría holográfica	123
5.3. Aplicaciones científicas	124
5.3.1. Espectroscopia	124
5.3.2. Manipulación de átomos por láser	125
5.3.3. Fusión nuclear inercial	125
5.4. Aplicaciones en medicina	127
5.4.1. Interacción del láser con los tejidos humanos	127
5.4.2. Oftalmología	129
5.4.3. Tratamiento de cánceres	129
5.4.4. Cirugía	130
5.4.5. Enfermedades cardiovasculares	130
5.4.6. Urología	130
5.5. Aplicaciones en metrología	131
5.5.1. Alineamiento	131
5.5.2. Medición de distancias	132
5.5.2.1. Interferometría	132
5.5.2.2. Telemetría de modulación de amplitud	133
5.5.2.3. Detectores de tiempo de vuelo («LIDAR»)	134
6. SISTEMAS LASER PARA PROCESADO DE MATERIALES	135
6.1. Sistemas para aplicaciones de corte	136
6.1.1. Corte en 2D	137
6.1.1.1. Corte 2D con generadores de CO ₂	137
6.1.1.2. Corte 2D con generadores Nd-YAG	141

6.1.2.	Corte en 3D	142
6.1.2.1.	Corte 3D con generadores de CO ₂	142
6.1.2.2.	Corte 3D con generadores Nd-YAG	144
6.2.	Sistemas para aplicaciones de perforado	146
6.2.1.	Sistemas de perforado con percusión	146
6.2.2.	Sistemas de trepanado	146
6.3.	Sistemas para aplicaciones de soldadura	147
6.3.1.	Sistemas para soldadura basados en el láser de CO ₂ ..	149
6.3.2.	Sistemas para soldadura basados en el láser Nd-YAG ..	151
6.4.	Sistemas para aplicaciones de tratamiento térmico	152
6.5.	Sistemas para aplicaciones de marcado	153
6.5.1.	Marcado con láseres TEA	153
6.5.2.	Marcado con láseres de Nd-YAG	155
6.6.	Consideraciones económicas	156
7.	ASPECTOS DE SEGURIDAD EN EL USO DE LA TECNOLOGIA LASER	161
7.1.	Principales riesgos en el uso de sistemas láser	161
7.1.1.	Efectos biológicos del láser	161
7.1.2.	Riesgos asociados al láser	165
7.2.	Clasificación de los sistemas láser con base en criterios de seguridad	167
7.3.	Medidas de prevención en instalaciones con láseres	170
7.3.1.	Método	171
7.3.2.	Instalaciones industriales	173
7.3.3.	Instalaciones médicas	174
7.3.4.	Equipos de Protección Individual	174
7.3.5.	Protección ocular	175
8.	COMPARACION DEL LASER CON TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS	179
8.1.	Comparación del láser con otras tecnologías de corte	179
8.1.1.	Corte láser frente a chorro de agua	179
8.1.2.	Corte láser frente a electroerosión	182
8.1.3.	Corte láser frente a arco plasma transferido	183
8.1.4.	Corte láser frente a oxicorte	185
8.1.5.	Corte láser frente a punzonadora	187
8.2.	Comparación del láser con otras tecnologías de soldadura ..	187
8.2.1.	Soldadura láser frente a haz de electrones	187
8.2.2.	Soldadura láser frente a soldadura por resistencia eléctrica	189
8.3.	Comparación del láser con otras tecnologías de perforado ..	191
8.3.1.	Perforado láser frente a haz electrónico	191
8.3.2.	Perforado láser frente a electroerosión	192

8.3.3.	Perforado láser frente a perforado mecánico	192
8.4.	Comparación del láser con otras tecnologías de tratamiento térmico	193
8.4.1.	Temple láser frente a inducción	193
8.4.2.	Temple láser frente a haz de electrones	194
8.4.3.	Recubrimiento láser frente a plasma transferido	195
8.5.	Comparación del láser con otras tecnologías de marcado	197
8.5.1.	Marcado por impresión de tinta	197
8.5.2.	Marcado por estampación	197
9.	SITUACION DEL MERCADO Y TENDENCIAS	199
9.1.	Situación del mercado internacional	200
9.1.1.	Mercado del láser para aplicaciones industriales	201
9.2.	Situación del mercado europeo	203
9.2.1.	Aplicaciones industriales	203
9.2.2.	Acciones promovidas por la Comisión de las Comunidades Europeas	205
9.3.	Situación del mercado español	206
9.4.	Tendencias previstas de la tecnología láser	207
9.4.1.	Generadores láser	207
9.4.2.	Aplicaciones de procesamiento de materiales	208
APENDICE 1.	Espectro electromagnético	209
APENDICE 2.	Tablas de generadores láser	211
APENDICE 3.	Fichas de generadores láser	215
	Láser de CO₂: RS 1700 RF	215
	Láser de estado sólido: JK 701H	217
	Láser de diodos: PM16	218
	Láser de HeNe: Modelo 200	219
APENDICE 4.	Empresas y centros relacionados con el láser	221
	Fabricantes de láseres de gran potencia	221
	Fabricantes de láseres de baja potencia	222
	Fabricantes de sistemas de láser industrial	222
	Fabricantes de componentes para sistemas láser	223
	Empresas españolas en la tecnología láser	224
	Centros de investigación	226
APENDICE 5.	Seguridad láser, normativas aplicables	227
	Normas europeas (CEN/CENELEC)	228
	Normas CEI	228
	Normativa europea	228

Cómo obtener información	229
APENDICE 6. Glosario de términos	231
APENDICE 7. Bibliografía	247
APENDICE 8. Desarrollos teóricos complementarios	251
APENDICE 9. Constantes fundamentales	255
APENDICE 10. Propiedades térmicas de algunos metales	257
INDICE	259