

# INDICE

---

---

<b>CAPITULO 1. LAS COMUNICACIONES OPTICAS</b> .....	<b>19</b>
1.1. ANTECEDENTES. ....	19
1.2. JUSTIFICACION DE LAS COMUNICACIONES OPTICAS. ....	20
1.2.1. LA LUZ COMO SOPORTE DE INFORMACION. ....	21
1.2.2. EL MEDIO DE PROPAGACION. ....	23
1.3. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR FIBRA. ....	27
1.4. PROPIEDADES DE LA FIBRA OPTICA. ....	28
<b>CAPITULO 2. PROPAGACION</b> .....	<b>33</b>
2.1. PROPAGACION DE LA LUZ EN LA FIBRA OPTICA. ....	33
2.2. REFLEXION Y REFRACCION EN UN INTERFAZ DIELECTRICO. ....	34
2.2.1. INDICE DE REFRACCION. ....	34
2.2.2. REFLEXION TOTAL. ....	34
2.2.3. CALCULO DEL ANGULO LIMITE. ....	36
2.3. PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LAS FIBRAS OPTICAS. ....	38

2.4. APERTURA NUMERICA (AN). . . . .	40
2.5. PROPAGACION DE LA LUZ EN GUIAONDAS CILINDRICO: MODOS. . . . .	42
2.6. TIPOS DE PERFIL DEL INDICE DE REFRACCION. . . . .	46
2.7. FIBRAS MULTIMODO DE SALTO DE INDICE. . . . .	47
2.8. FIBRAS MULTIMODO DE INDICE GRADUAL (I.G.). . . . .	49
2.8.1. VALORES DE $g$ . . . . .	51
2.8.2. DETERMINACION DEL PARAMETRO A. . . . .	51
2.8.3. APERTURA NUMERICA DE LAS FIBRAS I.G. . . . .	52
2.9. FIBRAS MONOMODO. . . . .	53
2.10. PARAMETROS GEOMETRICOS. . . . .	54
<b>CAPITULO 3. PARAMETROS DE TRANSMISION . . . . .</b>	<b>57</b>
3.1. ATENUACION EN LA FIBRA OPTICA. . . . .	57
3.1.1. PERDIDAS INTRINSECAS. . . . .	58
3.1.2. PERDIDAS DE ORIGEN EXTERNO. . . . .	59
3.1.3. ATENUACION TOTAL. . . . .	63
3.2. DISPERSION EN LAS FIBRAS. . . . .	64
3.2.1. LIMITACION DEL ANCHO DE BANDA. . . . .	66
3.3. DISPERSION MODAL. . . . .	67
3.3.1. DISPERSION MODAL EN FIBRAS DE SALTO DE INDICE. . . . .	68
3.3.2. DISPERSION MODAL EN FIBRAS DE INDICE GRADUAL. . . . .	70
3.4. DISPERSION DEL MATERIAL. . . . .	72
3.5. DISPERSION EN EL GUIAONDAS. . . . .	74
3.6. OPTIMIZACION DE LAS CARACTERISTICAS DE TRANSMISION. . . . .	75
3.7. ANCHO DE BANDA TOTAL. . . . .	77

<b>CAPITULO 4. FIBRAS: CLASIFICACION</b> .....	<b>79</b>
4.1. TIPOS DE FIBRAS OPTICAS. ....	79
4.2. FIBRAS DE ALTA CALIDAD. ....	84
4.2.1. FIBRAS MULTIMODO. ....	84
4.2.2. FIBRAS MONOMODO. ....	86
4.3. FIBRAS PARA ENLACES DE CORTA Y MEDIA DISTANCIA. ....	87
4.3.1. FIBRAS PARA REDES DE ABONADO DE BANDA ANCHA. ....	88
4.3.2. FIBRAS PARA CORTA DISTANCIA Y PEQUEÑA CAPACIDAD. ....	89
<b>CAPITULO 5. FABRICACION DE FIBRAS</b> .....	<b>91</b>
5. 1. TECNOLOGIAS DE FABRICACION. ....	91
5.2. TECNICAS PARA LA OBTENCION DE PREFORMAS. ....	93
5.2.1. DEPOSICION DE VAPORES QUIMICOS (CVD). ....	94
PROCESOS OPVD E IPVD. ....	94
METODO MCVD. ....	96
METODO PCVD. ....	97
5.2.2. DEPOSICION AXIAL DE VAPORES (VAD). ....	97
5.3. PROCESOS POSTERIORES. ....	97
5.4. VALORES TIPICOS OBTENIDOS. ....	100
<b>CAPITULO 6. MEDIDAS DE LOS PARAMETROS</b> .....	<b>103</b>
6.1. MEDIDAS DE PARAMETROS DE TRANSMISION EN FIBRAS. ....	103
6.2. CONDICIONANTES PREVIOS A LAS MEDIDAS. ....	104
6.2.1. EQUILIBRIO MODAL. ....	104
6.3. MEDIDA DE LA ATENUACION. ....	106
6.3.1. METODO DE CORTE. ....	106
6.3.2. METODO DE LAS PERDIDAS DE INSERCIÓN. ....	109

6.3.3. METODO DE RETROESPARCIMIENTO. ....	109
LOCALIZACION DE FALTAS. ....	112
6.4. MEDIDA DE LA DISPERSION TOTAL. ....	115
<b>CAPITULO 7. LOS CABLES DE FIBRA</b> .....	<b>121</b>
7.1. INTRODUCCION. ....	121
7.2. PARAMETROS DE DISEÑO. ....	122
7.2.1. SENSIBILIDAD A LAS CURVATURAS. ....	122
7.2.2. RESISTENCIA MECANICA. ....	124
7.2.3. FATIGA ESTATICA. ....	125
7.2.4. ATENUACION POR CABLEADO. ....	126
7.3. ESTRUCTURAS DE LOS CABLES. ....	127
7.3.1. ESTRUCTURAS HOLGADAS. ....	127
7.3.2. ESTRUCTURAS AJUSTADAS. ....	130
7.3.3. CABLES DE MATRIZ DE CINTAS. ....	131
7.3.4. CABLES DE CILINDRO RANURADO. ....	131
7.3.5. CUBIERTAS Y ENVOLTURAS. ....	132
7.3.6. ELEMENTOS AUXILIARES. ....	132
7.4. PRUEBAS DE LOS CABLES. ....	133
7.5. TIPOS MAS IMPORTANTES DE CABLES. ....	134
7.5.1. CABLES PARA REDES TELEFONICAS INTERURBANAS. ....	134
7.5.2. CABLES PARA REDES URBANAS Y LOCALES. ....	135
7.5.3. CABLES MONOFIBRA Y BIFIBRA. ....	136
7.5.4. CABLES DIELECTRICOS. ....	138
7.5.5. CABLES PARA EMPRESAS ELECTRICAS. ....	139
7.5.6. APLICACIONES MILITARES. ....	141
7.5.7. CABLES PARA EMPRESAS FERROVIARIAS. ....	141
<b>CAPITULO 8. TENDIDO Y UNIONES</b> .....	<b>143</b>
8.1. INTRODUCCION. ....	143
8.2. TIPOS DE INFRAESTRUCTURA. ....	145
8.2.1. TENDIDOS SUBACUATICOS. ....	145
8.2.2. TENDIDOS AEREOS. ....	145

8.2.3. INSTALACIONES SUBTERRANEAS. ....	146
8.3. TENDIDO DE CABLES EN CANALIZACION. ....	147
8.3.1. SUBCONDUCTOS DE CANALIZACIONES. ....	147
8.3.2. TENDIDO DEL CABLE EN EL SUBCONDUCTO. ....	148
8.3.3. EMPALME DE LOS CABLES. ....	149
8.4. TENDIDO DE CABLES EN ZANJA. ....	150
8.4.1. INSTALACION DE LOS CONDUCTOS EN LA ZANJA. ....	150
8.4.2. TENDIDO DEL CABLE EN LA ZANJA. ....	151
8.5. PERDIDAS EN LAS UNIONES DE FIBRAS. ....	152
8.6. TECNICAS DE EMPALME DE FIBRAS. ....	155
8.6.1. EMPALME MECANICO. ....	155
8.6.2. EMPALMES POR PEGAMENTO. ....	157
8.6.3. EMPALMES POR FUSION. ....	158
8.6.4. EMPALMES MULTIPLES. ....	161
8.7. CONECTORES. ....	161
8.7.1. CONECTORES PARA FIBRAS MULTIMODO. ....	162
CONECTORES POR FIBRA DESNUDA. ....	162
CONECTORES DE ALINEACION POR VIROLA. ....	164
8.7.2. CONECTORES PARA FIBRAS MONOMODO. ....	166
<b>CAPITULO 9. FUENTES Y DETECTORES</b> .....	<b>169</b>
9.1. INTRODUCCION. ....	169
9.2. CARACTERISTICAS DE LA EMISION EN LAS FUENTES . .	170
9.3. DIODOS LED Y ELED. ....	175
9.4. DIODOS LASER. ....	179
9.4.1. TIPOS DE LASER. ....	185
9.4.2. OTRAS PROPIEDADES. ....	191
9.5. DETECTORES. ....	193
9.5.1. DETECTORES PIN. ....	195
9.5.2. DETECTORES APD. ....	198
DETECTORES APD DE SILICIO. ....	198

DETECTORES APD DE GERMANIO. ....	199
DETECTORES DE LOS GRUPOS III-V. ....	200
9.5.3. DETECTORES PIN-FET. ....	201
9.5.4. DETECCION COHERENTE. ....	202
<b>CAPITULO 10. MODULACION Y MULTIPLEXACION .....</b>	<b>205</b>
10.1. LAS TECNICAS DE TRANSMISION. ....	205
10.2. SISTEMAS DE MULTIPLEXACION Y TECNICAS DE MODULACION. ....	206
10.3. MODULACION DE AMPLITUD. ....	210
10.4. MODULACION ANGULAR. ....	211
10.4.1. MODULACION DE FRECUENCIA. ....	211
10.4.2. MODULACION DE FASE. ....	212
10.5. LA TECNICA MIC. ....	212
10.6. VENTAJAS DE LA MODULACION DIGITAL. ....	213
10.7. MODULACION EN LOS SISTEMAS OPTICOS. ....	214
10.7.1. MODULACION ANALOGICA. ....	214
10.7.2. MODULACION DIGITAL. ....	215
10.8. DETECCION EN LOS SISTEMAS OPTICOS. ....	216
10.9. MULTIPLEXACION POR DIVISION EN LONGITUD DE ONDA (WDM). ....	217
10.10. COMPONENTES EMPLEADOS EN LA MULTIPLEXACION. ....	219
10.10.1. DISPOSITIVOS MICROOPTICOS. ....	219
10.10.2. DISPOSITIVOS DE FIBRA. ....	223
10.11. APLICACION DE LOS ACOPLADORES A LAS REDES DE DATOS. ....	224
10.12. MODULADORES ELECTROOPTICOS. ....	225
10.13. CONMUTADORES. ....	228

<b>CAPITULO 11. EQUIPOS DE LINEA</b> .....	<b>231</b>
11.1. INTRODUCCION. ....	231
11.2. EQUIPO TRANSMISOR. ....	233
11.2.1. REGENERADOR/DECODIFICADOR. ....	233
11.2.2. CODIFICADOR DE LINEA. ....	234
11.2.3. TRANSMISOR OPTICO. ....	236
11.3. EQUIPO RECEPTOR. ....	238
11.3.1. RECEPTOR OPTICO .....	238
SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR. ....	239
RELACION SEÑAL-RUIDO. ....	242
RUIDO CUANTICO. ....	244
RUIDO DE GRANALLA. ....	244
RUIDO DE FOTOMULTIPLICACION. ....	245
RUIDO TERMICO. ....	245
RUIDO DE AMPLIFICACION. ....	246
11.4. OTRAS FUENTES DE RUIDO. ....	246
11.4.1. RUIDO DE PARTICION. ....	246
11.4.2. RUIDO MODAL. ....	247
11.5. ALIMENTACION DEL SISTEMA .....	249
11.6. SUPERVISION. ....	249
11.7. REGIMEN MAXIMO DEL SISTEMA. ....	250
11.8. LA AMPLIFICACION ELECTROOPTICA ACTUAL. ....	252
11.9. EL PRINCIPIO DE LA AMPLIFICACION OPTICA. ....	253
11.9.1. PRIMEROS RESULTADOS DE LA INVESTIGACION. ....	253
11.9.2. DESARROLLOS. ....	254
11.10. CONSTITUCION DE UN AMPLIFICADOR EDFA. ....	254
11.11. USOS DEL AMPLIFICADOR OPTICO. ....	257

<b>CAPITULO 12. SECCION DE REGENERACION</b> .....	<b>261</b>
12.1. INTRODUCCION .....	261
12.2. CRITERIO DE PERDIDAS ADMISIBLES .....	261
12.3. CRITERIO DE LA MAXIMA DISPERSION .....	265
12.3.1. FIBRAS MULTIMODO .....	265
FIBRAS MULTIMODO S.I. ....	266
FIBRAS MULTIMODO I.G. ....	266
12.3.2. FIBRAS MONOMODO .....	267
<b>CAPITULO 13. LAS REDES DE FIBRA OPTICA</b> .....	<b>271</b>
13.1. INTRODUCCION. ....	271
13.2. COMPARACION CON OTROS SISTEMAS DE COMUNICACIONES. ....	271
13.2.1. VENTAJAS FRENTE A LOS CABLES COAXIALES. .	271
13.2.2. VENTAJAS FRENTE A SISTEMAS RADIOELECTRICOS. ....	275
13.2.3. EVOLUCION DEL MERCADO. ....	275
13.3. LA FIBRA EN LAS REDES PUBLICAS. ....	278
13.3.1. NUEVAS NECESIDADES EN LAS COMUNICACIONES. ....	278
13.3.2. LA FIBRA EN LAS REDES URBANAS DE ENLACES. ....	279
13.3.3. LA FIBRA EN LAS COMUNICACIONES INTERURBANAS. ....	281
13.3.4. LA FIBRA OPTICA Y LOS CABLES SUBMARINOS.	283
13.3.5. COMPARACION CON LAS COMUNICACIONES POR SATELITE. ....	284
13.4. LA FIBRA OPTICA Y LAS REDES DIGITALES. ....	285
13.4.1. SERVICIOS DE LAS REDES DE BANDA ANCHA. . .	287
13.4.2. TOPOLOGIA DE LAS REDES DE BANDA ANCHA. .	287



13.5. EL BUCLE DE ABONADO. ....	288
13.5.1. ENLACES FISICOS. ....	289
13.5.2. OTROS ENLACES. ....	289
13.6. EMPLEO DE LA FIBRA OPTICA EN EL BUCLE DE ABONADO. ....	290
13.6.1. CONDICIONANTES TECNICOS. ....	291
13.6.2. FACTORES ECONOMICOS. ....	292
13.6.3. DEMANDA SOCIAL DE SERVICIOS. ....	293
13.7. ARQUITECTURAS DE RED MAS USUALES. ....	294
13.8. ELECCION DEL TIPO DE FIBRA PARA UNA RED. ....	296
13.9. ANALISIS DE UNA ARQUITECTURA PON. ....	299
13.10. PROYECTOS DE REDES DE BANDA ANCHA. ....	301
13.10.1. PROYECTO BIARRITZ. ....	302
13.10.2. PROYECTO MARSSENS. ....	302
13.10.3. PROYECTO SASKATCHEWAN. ....	302
13.10.4. PROYECTO FRANCES PARA VIDEOCOMUNICACIONES. ....	303
13.11. MODULACION Y MULTIPLEXACION DE REDES. ....	304
13.12. REDES DE AREA LOCAL (LAN). ....	305
13.12.1. RED LOCAL DE KAWASAKI. ....	308
13.12.2. MAN DE LA UNIVERSIDAD DE FLORENCIA. ....	309
13.13. APUNTES SOBRE PROYECTOS DE LINEAS Y REDES. ...	310
<b>CAPITULO 14. APLICACIONES</b> .....	<b>313</b>
14.1. INTRODUCCION. ....	313
14.2. APLICACIONES BASADAS EN LA TRANSPARENCIA: EL ENDOSCOPIO. ....	315
14.2.1. INSPECCION DE MOTORES Y TURBINAS. ....	317
14.2.2. ARQUEOLOGIA. ....	318
14.2.3. MEDICINA. ....	318
14.2.4. ANALISIS REMOTO DE MUESTRAS. ....	319

14.2.5. REPRODUCTORES DE IMAGENES TRIDIMENSIONALES (HOLOGRAMAS Y DECODIFICADORES). . . . .	319
14.2.6. TRANSPORTE DE ENERGIA Y SEÑALIZACION. . . . .	320
ILUMINACION. . . . .	321
14.3. RADIACION DEL EXTREMO DE LA FIBRA. . . . .	322
14.3.1. CONMUTADORES. . . . .	322
14.3.2. MEDIDAS DE CONTAMINACION Y DE COMPOSICION. . . . .	322
14.3.3. DETECTOR DE FISURAS EN SUPERFICIES REFLECTANTES. . . . .	325
14.3.4. LA RADIACION Y EL SENSOR DE TEMPERATURA. . . . .	325
14.3.5. MICROMETROS Y SENSORES DE ROTACION. . . . .	326
14.3.6. DETECTOR DE NIVEL. . . . .	326
14.4. VELOCIDAD DE PROPAGACION. . . . .	327
14.4.1. GIROSCOPOS OPTICOS. . . . .	327
14.4.2. LINEAS DE RETARDO. . . . .	330
14.5. SENSIBILIDAD A LOS FACTORES EXTERNOS: LOS SENSORES. . . . .	330
14.6. SENSORES DE PRESION. . . . .	332
14.6.1. ESTERILLAS DE DETECCION. . . . .	334
14.6.2. EL HIDROFONO DE FIBRA COMO SENSOR DE PRESION. . . . .	334
14.6.3. AURICULARES OPTICOS. . . . .	336
14.6.4. SENSOR ACUSTICO INTERFEROMETRICO. . . . .	336
14.6.5. FILTROS DE LONGITUD DE ONDA. . . . .	336
14.6.6. OTRAS APLICACIONES. . . . .	336
14.7. SENSORES DE TEMPERATURA. . . . .	337
14.8. MEDIDAS DE CAMPO MAGNETICO. . . . .	337
14.9. OTRAS APLICACIONES DE LOS SENSORES. . . . .	339
14.10. BARRERAS OPTICAS. . . . .	339

14.11. APLICACIONES MILITARES DE LOS SISTEMAS DE FIBRAS. ....	341
---	-----

14.12. TABLA RESUMEN DE PROPIEDADES Y APLICACIONES. ....	343
--	-----

## **CAPITULO 15. DESARROLLOS Y TENDENCIAS ..... 347**

15.1. INTRODUCCION. ....	347
--------------------------	-----

15.2. LOS DESARROLLOS EN EMISORES Y DETECTORES. ....	350
--	-----

15.2.1. EMISORES. ....	351
------------------------	-----

15.2.2. DETECTORES. ....	352
--------------------------	-----

15.3. LA CONMUTACION FOTONICA. ....	353
-------------------------------------	-----

15.3.1. LA CONMUTACION ESPACIAL. ....	353
---------------------------------------	-----

15.3.2. LA CONMUTACION TEMPORAL. ....	355
---------------------------------------	-----

15.3.3. LA CONMUTACION DE LONGITUDES DE ONDA. .	356
---	-----

15. 4. NUEVAS TECNOLOGIAS DE MODULACION Y DETECCION. ....	359
---	-----

15.5. AMPLIFICADORES OPTICOS. ....	361
------------------------------------	-----

15.6. LAS NUEVAS FIBRAS. ....	363
-------------------------------	-----

15.7. LA OPTICA INTEGRADA. ....	363
---------------------------------	-----

15.8. SISTEMAS OPTICOS TERRESTRES Y MARINOS. ....	364
---	-----

15.9. PERSPECTIVAS DE LA F.O. EN EL BUCLE DE ABONADO. ....	365
--	-----

## **APENDICES**

<b>A: PARAMETROS DE ELEMENTOS ACTIVOS ..... 369</b>	<b>369</b>
---	------------

<b>B: LA DISPERSION ESPECTRAL ..... 373</b>	<b>373</b>
---	------------

<b>C: CASOS DE APLICACION ..... 377</b>	<b>377</b>
---	------------

<b>D: UNIDADES DE TRANSMISION MAS USUALES ..... 387</b>	<b>387</b>
---	------------

<b>E: DEFINICIONES USUALES EN TEORIA DE CIRCUITOS ..</b>	<b>389</b>
<b>F: RELACION DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>393</b>
<b>G: OPERADORES Y FABRICANTES .....</b>	<b>397</b>
<b>H: RELACION DE FIGURAS .....</b>	<b>399</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>403</b>
<b>INDICE ALFABETICO .....</b>	<b>409</b>