

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Evolución y estado actual de las redes de MMF	1
1.2. Características de la fibra óptica multimodo	4
1.2.1. Análisis de la MMF mediante óptica geométrica	6
1.2.2. Análisis modal de la propagación en MMF mediante la aproxi- mación de guiado débil	8
1.3. Técnicas de transmisión sobre MMF	10
1.4. Objetivo y estructura de la tesis	11
1.5. Contribuciones originales de la tesis	13
2. Modelo de propagación en un enlace de fibra multimodo	15
2.1. Introducción al modelo de propagación desarrollado	15
2.2. Revisión del modelo de Saleh-Abdula	17
2.2.1. Transmisión a través de la fibra multimodo	17
2.2.2. Fuente óptica	18
2.2.3. Detector óptico	20
2.2.4. Fibra multimodo con acoplo de modos	22
2.3. Parámetros modales	26
2.3.1. Retardo modal	27
2.3.2. Atenuación modal	27
2.3.3. Pérdidas de acoplo debido a curvaturas aleatorias	28
2.4. Respuesta en frecuencia empleando acoplo de modos	29
2.4.1. Dispersión cromática de segundo y tercer orden no nulas	31
2.4.2. Dispersión cromática despreciable	36
2.4.3. Dispersión cromática de segundo orden	36

2.4.4. Dispersión cromática de tercer orden	38
2.5. Simulación de la respuesta en frecuencia lineal	41
2.5.1. Dispersión cromática de segundo orden	41
2.5.2. Dispersión cromática de tercer orden	51
2.6. Conclusiones	54
3. Degradación de la señal en un enlace de fibra multimodo	57
3.1. Introducción al estudio de la degradación de la señal	57
3.2. Estudio de la distorsión no lineal	58
3.2.1. Introducción a la distorsión no lineal	58
3.2.2. Modelo para la distorsión armónica e intermodulación	59
3.2.3. Simulaciones y resultados	63
3.3. Análisis del impacto del ruido modal	66
3.3.1. Introducción al ruido modal	66
3.3.2. Modelo para el análisis del speckle contrast	67
3.3.3. Simulaciones y resultados	72
3.4. Conclusiones	75
4. Caracterización experimental de enlaces de MMF de banda ancha	77
4.1. Introducción	77
4.2. Influencia de la coherencia temporal de la fuente óptica	78
4.3. Evaluación experimental de diversas condiciones de excitación modal .	80
4.3.1. Condiciones de excitación selectiva central	80
4.3.2. Condiciones de excitación selectiva desplazada	80
4.3.3. Caracterización y comparativa	82
4.4. Respuesta frente a diversas ventanas de transmisión	86
4.5. Conclusiones	88
5. Estudio exp. de técnicas de tx. de b. ancha sobre enlaces de MMF	89
5.1. Introducción y consideraciones previas	89
5.2. Aplicación de técnicas SCM	91
5.2.1. Introducción	91
5.2.2. Montaje experimental	91
5.2.3. Resultados	92
5.3. Transmisión simultánea de banda base y radio sobre fibra	95
5.3.1. Introducción	95
5.3.2. Montaje experimental	96

5.3.3. Resultados	97
5.4. Aplicación de técnicas WDM	100
5.4.1. Introducción	100
5.4.2. Montaje experimental	102
5.4.3. Resultados	103
5.5. Conclusiones	105
6. Conclusiones y líneas abiertas	107
6.1. Conclusiones	107
6.2. Líneas de investigación abiertas	109
A. Publicaciones científicas del autor	111

Índice de figuras

1.1. Red incorporada de MMF integrando diferentes servicios	2
1.2. Servicios que coexisten en una Red Incorporada	2
1.3. Instalación mundial de fibra óptica en redes universitarias	5
1.4. Instalación mundial de fibra óptica en redes de edificios	5
1.5. Diferentes perfiles del índice de refracción	6
1.6. Tipos de MMF según el perfil del índice de refracción	7
1.7. Multiplexación SCM sobre un enlace de MMF	11
2.1. Esquema de un enlace de fibra óptica multimodo	17
2.2. Localización del punto (r,z) en la sección cruzada de la MMF	18
2.3. Dependencia del retardo de grupo con la frecuencia lejos del punto de dispersión cero	40
2.4. Dependencia del retardo de grupo con la frecuencia en el punto de dispersión cero	40
2.5. Efecto del acoplo intermodal (MC) y atenuación modal diferencial (DMA)	42
2.6. Influencia del exponente de índice gradual	42
2.7. Influencia de la coherencia temporal de la fuente óptica	44
2.8. Efecto supresión de portadora para distintos valores de chirp	45
2.9. Efecto supresión de portadora para distintas longitudes del enlace	46
2.10. Influencia del exponente de índice gradual α para $L = 10$ km	47
2.11. Influencia de la longitud de correlación D	48
2.12. Influencia de la longitud de onda de emisión de la fuente	49
2.13. Coeficientes de inyección C_{mm} para excitación modal central	49
2.14. Influencia de la excitación modal central	50
2.15. Coeficientes de inyección C_{mm} para excitación modal desplazada	50

2.16. Influencia de la excitación modal desplazada	51
2.17. Influencia del tiempo de coherencia de la fuente para dispersiones de 2º y 3ª orden	52
2.18. Respuesta para diferentes distancias para dispersiones de 2º y 3ª orden	53
2.19. Influencia del chirp de la fuente para dispersiones de 2º y 3ª orden . .	54
3.1. Esquema del enlace para una señal moduladora compuesta por dos tonos	60
3.2. Potencia recibida para los tonos fundamentales, armónicos y productos de intermodulación	64
3.3. CSO relativo a los armónicos y productos de intermodulación	65
3.4. Influencia de m_o sobre el <i>speckle contrast</i> para $L = 100$ m, 1 km y 5 km	73
3.5. Influencia de α_c sobre el <i>speckle contrast</i> para $L = 100$ m, 1 km y 5 km	73
3.6. Influencia del ancho espectral de la fuente sobre el <i>speckle contrast</i> para $L = 5$ km	74
3.7. Diversas condiciones de excitación modal selectiva	74
3.8. <i>Speckle contrast</i> según diferentes condiciones de excitación modal . . .	75
4.1. Diagrama de bloques experimental para la caracterización del efecto de la coherencia temporal de la fuente óptica sobre la respuesta en radiofrecuencia de un enlace de MMF	79
4.2. Caracterización del efecto de la coherencia temporal de la fuente óptica sobre la respuesta en radiofrecuencia de un enlace de MMF de 5 km . .	79
4.3. Representación esquemática de la inyección desplazada en una MMF .	81
4.4. Esquema de la condición de inyección desplazada empleada en el estándar 10GBASE-LRM	81
4.5. Diagrama de bloques experimental para la caracterización de diversas condiciones de excitación modal	83
4.6. Respuesta eléctrica para diversas condiciones de excitación modal. $L=500$ m	83
4.7. Respuesta eléctrica para diversas condiciones de inyección de luz. $L=5$ km	84
4.8. Divergencia del haz de luz gaussiano acoplado desde una SMF a una MMF	84
4.9. Respuesta eléctrica para inyección desplazada mediante microposicio- nador: desplazamientos radiales ρ	86
4.10. Respuesta eléctrica para 2ª y 3ª ventana de transmisión. $L=500$ m . . .	87
4.11. Respuesta eléctrica para 2ª y 3ª ventana de transmisión. $L=5$ km . . .	87
5.1. Diagrama de bloques del montaje experimental para la transmisión de señales QPSK	92
5.2. Diagramas I/Q de vectores polares medidos para ambos enlaces de MMF	93

5.3. Cálculo de la Magnitud del Vector de Error (EVM)	94
5.4. EVM medio medido según la frecuencia de subportadora para ambos enlaces de MMF	95
5.5. Diagrama de bloques del sistema experimental para transmisión si- multánea	96
5.6. Espectro eléctrico total recibido	97
5.7. Espectro eléctrico recibido para la banda superior de CATV	98
5.8. Diagramas de ojos medidos y factores de calidad Q para la transmisión digital a 2.5 Gb/s	99
5.9. Tasa de error de bit (BER) frente a la potencia óptica recibida para la transmisión digital a 2.5 Gb/s	100
5.10. Diagrama de bloques del sistema experimental para transmisión WDM	102
5.11. Diagrama de ojos y factor de calidad Q bajo detección multimodo . .	104
5.12. Diagramas de ojos y factores de calidad Q para cada canal WDM demultiplexado	104
5.13. Tasa de error de bit frente a potencia óptica recibida para cada canal WDM demultiplexado	105

Índice de tablas

1.1. Sistemas de comunicaciones inalámbricas en entornos de corto/medio alcance	3
1.2. Tipos de MMF según el estándar ISO	4
5.1. Potencia eléctrica ajustada para canal de radiofrecuencia	92

