

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“SIMULADOR DE ONDAS WDM (OPTICAL
DIVISION MULTIPLEXING) PARA EL
LABORATORIO DE SISTEMAS AVANZADOS DE
TELECOMUNICACIONES”**

EDGAR PAÚL RAMOS FUERTES

Sangolquí – Ecuador

2007

RESUMEN

El Simulador WDM, es una herramienta muy útil para el laboratorio de Sistemas Avanzados de Telecomunicaciones (SAT), porque permite observar claramente el comportamiento de la tecnología WDM aplicada en la fibra óptica, y las ventajas que presenta para ser utilizada en la actualidad a nivel mundial.

En los tres bloques principales de programación elaborados para el simulador, se utilizó una interfaz gráfica GUIDE de MATLAB, que permite la ejecución de manera más eficiente.

En uno de los programas, se puede realizar la simulación que permitirá determinar la probabilidad de bloqueo en la red, con la variable de tráfico, la misma que debe ser ingresada y así producir incremento en el tráfico de la red.

Otro programa del simulador, permite determinar la probabilidad de bloqueo para una red que posea tráfico inicial cero, luego al realizar el incremento mediante la variable de tráfico, se puede visualizar las ventajas en torno a los resultados obtenidos.

Finalmente el tercer programa, permite determinar la eficiencia de la red al utilizarla cuando se realiza incremento de tráfico y observar así como se produce la saturación. Para este programa se utilizó dos tipos de Algoritmos Kovacevic y Birman.

Los resultados obtenidos indican lo favorable de usar tecnología WDM aplicada a la fibra óptica, específicamente en las fibras monomodo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera muy especial a mi hogar, Edguitar, Yolita, Dieguito y Dianita, pues gracias a su apoyo diario, sus palabras de aliento, su manera individual y muy particular de decir las cosas para no dejarme caer ante cualquier adversidad. A toda mi familia, abuelita, tíos, primos. A mis amigos y compañeros. Y a mis familiares que aun estando en el cielo se que están muy contentos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ser Supremo por la vida que me ha concedido. A mis padres Yolita y Edguitar por su amor incondicional, a mis hermanos Dianita y Dieguito que han estado siempre junto a mí en todo momento. A mis profesores Fabián Sáenz y Rodolfo Gordillo por su orientación y colaboración. A toda mi familia por su apoyo. A mis amigos y a todos aquellos que fueron partícipes para la realización de culminar un peldaño más en mi vida.

PROLOGO

El Simulador WDM, se lo realizó por la necesidad de tener una herramienta que, a través de las prácticas permita obtener unas gráficas que demuestren lo que ocurriría al usar la tecnología WDM en fibras monomodo.

Muchas veces como estudiantes del Departamento de Eléctrica y Electrónica y nos vemos en la necesidad de consultar muchos libros para conseguir así una información de calidad, en la que se recopilen principalmente algo de historia, desarrollo, evolución y la actualidad de un determinado tema.

En este proyecto de tesis se realiza esta recopilación necesaria, para un correcto entendimiento y comprensión, esto se lo realizó mediante la descripción de la parte histórica de la fibra óptica, su desarrollo y evolución a través de los tiempos y la actualidad de la misma, así como también de las comunicaciones y la transmisión de datos.

Finalmente se realiza la culminación del proyecto al tener en correcto funcionamiento del Simulador de Ondas WDM, en el cual se pueden ejecutar prácticas para tener un mejor entendimiento del trabajo de esta tecnología dentro de las fibras monomodo y con los resultados comprobar el por qué son tan importantes y su utilización a nivel mundial.

En este proyecto de tesis se da una muestra del interesante desempeño con las rutinas de programación en MATLAB y su fácil programación.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Resumen	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Prologo	iv
Capítulo 1.	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Desarrollo histórico de la Fibra Óptica	1
1.2 Desarrollo histórico de las Comunicaciones	10
1.3 Desarrollo histórico de la Transmisión de Datos	12
Referencias Bibliográficas	18
Capítulo 2.	
2. TRANSMISIÓN DE DATOS Y FIBRA ÓPTICA	20
2.1 Maneras de Transmisión de datos a través de Fibra Óptica	20
2.2 Origen de la fibra óptica	22
2.2.1 Composición de las fibras ópticas	22
2.2.2 Propiedades de la Fibra Óptica	25
2.2.2.1 Atenuación	25
2.2.2.2 Dispersión Cromática	26
2.2.2.3 Dispersión por Modo de Polarización	28
2.2.2.4 No linealidad de la Fibra Óptica	29
2.3 Construcción de la fibra óptica	30
2.3.1 Inmunidad a las Interferencias	31
2.3.2 Microcurvatura	32
2.3.3 Curvatura	32
2.3.4 Configuración de una Fibra	33
2.3.4.1 Fibra monomodo de índice de escalonado	34
2.3.4.2 Fibra multimodo de índice escalonado	34
2.3.4.3 Fibra multimodo de índice graduado	35
2.3.5 Pérdidas en los cables	36
2.4 Evolución	37
2.4.1 Tipos de cables	37
2.4.1.1 Patchcord simple CPS	37
2.4.1.2 Patchcord doble CPD/CIP	38
2.4.1.3 Cable de Distribución de Armadura Dieléctrica	40
2.4.1.4 Cable de Distribución de Armado Metálico	41
2.4.1.5 Cable de Distribución Interior Reforzado	42
2.4.2 Comparación de construcción y ventajas de los cables de F.O.	44
2.5 Ventajas y desventajas de la F.O.	45
2.6 Fibra óptica en la actualidad	47

2.7 Tipos de fibra óptica en la actualidad	49
2.7.1 Fibra óptica monomodo estándar (SSMF)	49
2.7.2 Fibra óptica de dispersión desplazada (DSF)	50
2.7.3 Fibra óptica de dispersión desplazada no nula (NZDSF)	50
2.7.4 Fibra óptica de dispersión compensada (DCF)	51
2.7.5 Fibra óptica de polarización estable (PMF)	51
2.7.6 Fibra óptica de plástico (POF)	51
2.7.7 Fibra óptica de cristal fotónico (PCF)	52
Referencias Bibliográficas	53
Capítulo 3.	
3. WDM	55
3.1 Origenes de WDM	55
3.2 Tipos de WDM	59
3.3 Evolución de WDM	60
3.4 WDM en la actualidad	61
3.5 Redes completamente ópticas (AON)	64
3.5.1 Usuarios, terminales ópticos y servicios AON	65
3.5.2 Arquitectura de AON	66
3.6 Cálculo de factores de WDM	67
3.6.1 Notación	67
3.6.2 Formulación	71
3.6.3 Factores	72
Referencias Bibliográficas	75
Capítulo 4.	
4. ELABORACIÓN DE UN SIMULADOR DE WDM	77
4.1 Sistemas WDM punto a punto	77
4.2 Construcción de Simulador	78
4.2.1 Probabilidad de Bloqueo a través de la transmisión de datos sin tráfico	79
4.2.2 Probabilidad de Bloqueo a través de la transmisión de datos con tráfico	80
4.2.3 Cálculo de la eficiencia de la red utilizando WDM	80
4.3 Variables, Funciones y Comandos de Matlab utilizadas en la programación.	81
Referencias Bibliográficas	85
Capítulo 5.	
5. ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS PARA EL SIMULADOR DE WDM	86
5.1 Algoritmos Utilizados	86
5.2 Guía de Práctica N° 1: Transmisión de datos con incremento de tráfico	89
5.3 Guía de Práctica N° 2: Transmisión de datos sin tráfico	98
5.4 Guía de Práctica N° 3: Cálculo del bloqueo de la red utilizando WDM	110
5.5 Interfaz Gráfica	117
Referencias Bibliográficas	127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128

ANEXOS

Anexo 1: Optical Carrier Specifications

Anexo 2: Características de Fibra Multimodo 50/125

Anexo 3: Características de Fibra Monomodo Estandar

Anexo 4: Características de Fibra Monomodo (Dispersion Shift)

Anexo 5: Características de Fibra Monomodo de Mínima Atenuación

Anexo 6: Características de Fibra Monomodo (Non Zero Dispersion Shift)

Anexo 7: Normas técnicas de la ITU-T

Anexo 8: Codificación de Programa BLOCKING_SIM_SCRIPT para Matlab

Anexo 9: Codificación de Programa LINK_SIM_CONV para Matlab

Anexo 10: Codificación de Programa LINK_SIM_NO_CONV para Matlab

Anexo 11: Codificación de Programa BLOCKING_ANL_SCRIPT para Matlab

Anexo 12: Codificación de Programa P_L para Matlab

Anexo 13: Codificación de Programa P_M para Matlab

Anexo 14: Codificación de Programa RLA_SCRIPT para Matlab

Anexo 15: Codificación de Programa COMPUTE_BLOCKING_KOVACEVIC para Matlab

Anexo 16: Codificación de Programa COMPUTE_BLOCKING_BIRMAN para Matlab

Anexo 17: Codificación de Programa ERLANG_B para Matlab

Anexo 18: Normativa G652 de la UIT-T

Anexo 19: Normativa G653 de la UIT-T

Anexo 20: Normativa G655 de la UIT-T

Anexo 21: Normativa G692 de la UIT-T

Anexo 22: Normativa G694.2 de la UIT-T

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Patchcord simple CPS	38
Tabla 2.2. Patchcord doble CPD/CIP	39
Tabla 2.3. Cable interior – exterior CDAD	41
Tabla 2.4. Cable interior - exterior CDAM	42
Tabla 2.5. Comparación de Construcción y ventajas de cables de F.O.	44
Tabla 3.1. Características de WDM	59
Tabla 3.2. Parámetros de WDM en la transmisión	68
Tabla 4.1. Descripción básica de programas utilizados para el simulador WDM.	79

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURAS DEL CAPITULO 1:	
Figura 1.1. Telégrafo Óptico	2
Figura 1.2. Experimento de Tyndall	3
Figura 1.3. Fotófono de Graham Bell	4
Figura 1.4. Luz de Láser	4
Figura 1.5. Fibra de Vidrio	5
Figura 1.6. Fibra Óptica	5
Figura 1.7. Diodo PIN	6
Figura 1.8. Ciudades del corredor este de USA.	8
Figura 1.9. Amplificador EDFA	9
Figura 1.10. Vista de un iconoscopio	13
Figura 1.11. Maquina diferencial de Babbage	14
Figura 1.12. ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculador)	15
Figura 1.13. Redes de Computadoras	16
Figura 1.14. Satélite Sputnik 1	16
Figura 1.15. Satélite artificial	17
FIGURAS DEL CAPITULO 2:	
Figura 2.1. Sistema básico de transmisión con F.O.	20
Figura 2.2. Composición de la Fibra Óptica	22
Figura 2.3. Conducción de la luz a través de la F.O.	23
Figura 2.4. Ventanas de trabajo de la fibra óptica	24
Figura 2.5. Atenuación de Fibra Óptica hecha de Silicio	26
Figura 2.6. Dispersión Cromática Vs. Longitud de Onda	27
Figura 2.7. Componentes de dispersión de materiales y guías de onda	27
Figura 2.8. PMD en una Fibra Monomodo de asimetría uniforme	28
Figura 2.9. Fibra Óptica	31
Figura 2.10. Fibra Monomodo de índice escalonado	34
Figura 2.11. Fibra óptica multimodo de índice escalonado	35
Figura 2.12. Fibra óptica multimodo de índice graduado	35
Figura 2.13. Tipos de Fibra Óptica	36
Figura 2.14. Patchcord simple CPS	37
Figura 2.15. Patchcord doble CPD/CIP	39
Figura 2.16. Cable CDAD	40
Figura 2.17. Cable CDAM	41
Figura 2.18. Cable CDIR	42
Figura 2.19. Fibra óptica de dispersión desplazada DSF.	50
Figura 2.20. Fibra óptica de plástico.	52
Figura 2.21. Fibra óptica de cristal fotónico	52

FIGURAS DEL CAPITULO 3:

Figura 3.1. Transmisión de datos utilizando WDM	55
Figura 3.2. Multiplexor de WDM	56
Figura 3.3. Comienzos de WDM	57
Figura 3.4. DWDM de 8 canales	57
Figura 3.5. Sistema DWDM con ADD/DROP	58
Figura 3.6. Crecimiento de la capacidad en la fibra	58
Figura 3.7. Rejilla de trabajo de las Longitudes de onda en CWDM	60
Figura 3.8. Múltiples transmisiones de longitudes de onda se representan por una línea de vía ancha	64

FIGURAS DEL CAPITULO 4:

Figura 4.1. Enlace WDM punto a punto	78
--------------------------------------	----

FIGURAS DEL CAPITULO 5:

Figura 5.1. Inicio de Programa Matlab	89
Figura 5.2. Programa primero, calcula la probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico	90
Figura 5.3. Ingreso de número de canales, en programa primero	91
Figura 5.4. Ingreso de número de enlaces, en programa primero	91
Figura 5.5. Ingreso de Carga total, en programa primero	92
Figura 5.6. Elección de método a utilizarse, en programa primero	92
Figura 5.7. Elección de grado de conversión, en programa primero	93
Figura 5.8. Tiempo de operación, en programa primero	93
Figura 5.9. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico Sin conversión	94
Figura 5.10. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico Conversión Completa	95
Figura 5.11. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico Conversión Limitada	95
Figura 5.12. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico para los tres tipos de Conversión.	96
Figura 5.13. Programa segundo, calcula la probabilidad de bloqueo sin tráfico	98
Figura 5.14. Ingreso de número de canales, en programa segundo	99
Figura 5.15. Ingreso de número de enlaces, en programa segundo	99
Figura 5.16. Ingreso de carga total, en programa segundo	100
Figura 5.17. Ingreso de número de generaciones, en programa segundo	100
Figura 5.18. Elección de canal a utilizar Con Conversión, en programa segundo	101
Figura 5.19. Momento de espera por cálculos, en programa segundo	102
Figura 5.20. Elección de canal a ser utilizado Sin Conversión, en programa segundo	102
Figura 5.21. Tiempo de operación, en programa segundo	103
Figura 5.22. Probabilidad de bloqueo sin tráfico con Conversión	104
Figura 5.23. Probabilidad de bloqueo sin tráfico Sin Conversión Primer Ajuste	104

Figura 5.24. Probabilidad de bloqueo sin tráfico Sin Conversión Randómico	105
Figura 5.25. Probabilidad de bloqueo sin tráfico con tres Conversiones	106
Figura 5.26. Tiempo de uso de Canales Sin Conversión: Primer Ajuste	106
Figura 5.27. Tiempo de uso de Canales Sin Conversión: Randómica	107
Figura 5.28. Tiempo de uso de Canales Con Conversión	108
Figura 5.29. Programa tercero, calculo del vector de bloqueo	110
Figura 5.30. Elección de red a utilizarse, en programa tercero	111
Figura 5.31. Ingreso de número de canales, en programa tercero	111
Figura 5.32. Grado de tráfico de la red, en programa tercero	112
Figura 5.33. Ingreso de valor de incremento, en programa tercero	112
Figura 5.34. Elección de método a ser utilizado, en programa tercero	113
Figura 5.35. Momento de espera al realizar los cálculos, en programa tercero	113
Figura 5.36. Tiempo de operación, en programa tercero	114
Figura 5.37. Vector de Bloqueo utilizando algoritmo de Kovacevic	115
Figura 5.38. Eficiencia de la red utilizando Algoritmo de Kovacevic	115
Figura 5.39. Vector de Bloqueo utilizando algoritmo de Birman	116
Figura 5.40. Eficiencia de la red utilizando Algoritmo de Birman	116
Figura 5.41. Inicio de Programa MATLAB 7.0	118
Figura 5.42. Inicio de comando GUIDE	118
Figura 5.43. Visualización de archivos GUIDE existentes	119
Figura 5.44. Cálculo de Probabilidades de Bloqueo con incremento de tráfico usando GUIDE	119
Figura 5.45. Ingreso de datos en programa	120
Figura 5.46. Advertencia que los cálculos se están realizando	120
Figura 5.47. Gráfica de resultados obtenidos en primera práctica	121
Figura 5.48. Tiempo de ejecución de primer programa	121
Figura 5.49. Gráfica de resultados al variar datos en primer programa	122
Figura 5.50. Cálculo de Probabilidades de Bloqueo con canales libres usando GUIDE	123
Figura 5.51. Resultado de Gráfica probabilidad de bloqueo con canales libres	123
Figura 5.52. Tiempo de uso de los canales	124
Figura 5.53. Cálculo de eficiencia de la red usando GUIDE	125
Figura 5.54. Resultado de la eficiencia de red	125
Figura 5.55. Vector de bloqueo usando Kovacevic	126

GLOSARIO DE TERMINOS

Láser.- del inglés *laser*, acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* "Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación"

Fotodetectores.- transductor de luz, que proporciona una señal eléctrica como respuesta a la radiación óptica que incide sobre la superficie sensora.

PIN.- diodo que presenta una región P y otra N fuertemente dopadas, separadas por una región de material que es casi intrínseco.

Fibra Óptica (F.O.)- guía o conducto de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio "polisilicio", también puede ser de materiales plásticos, capaz de transportar una potencia óptica en forma de luz, normalmente emitida láser o LED.

Cinematógrafo.- aparato que permite proyectar y reproducir sobre una pantalla imágenes en movimiento.

SDH.- Synchronous Digital Hierarchy

SONET.- Synchronous Optical Network

OADM.- Optical Add and Drop Module

ESCON.- Enterprise System CONnection

OXC.- optical cross connect

IP.- Internet Protocol

ATM.- Asynchronous Transfer Mode, modo de transferencia asíncrona

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESARROLLO HISTORICO DE LA FIBRA ÓPTICA

- En 1.626, el astrónomo y matemático holandés Willebrord Snel van Royen, pronuncia las leyes de: Reflexión y Refracción de la luz.
- En 1.668, el científico inglés Isaac Newton (autor de la teoría de la gravitación universal), a través de sus experimentos con la luz, empieza a estudiarla como un fenómeno ondulatorio; encontrando que la luz se propaga de forma similar a las ondas sonoras, es decir, que se puede estudiar como una onda mecánica.
- En 1.790, el inventor francés Claude Chappe (considerado como el magnate de las telecomunicaciones), construye un telégrafo óptico, ver Figura 1.1. [3], mediante un complicado sistema de telescopios para establecer un enlace entre París y Estrasburgo. Por medio de torres con señalizaciones móviles, podía transmitir información a 200 km en 15 minutos. Este invento, fue reemplazado luego por el telégrafo eléctrico. [1,2]

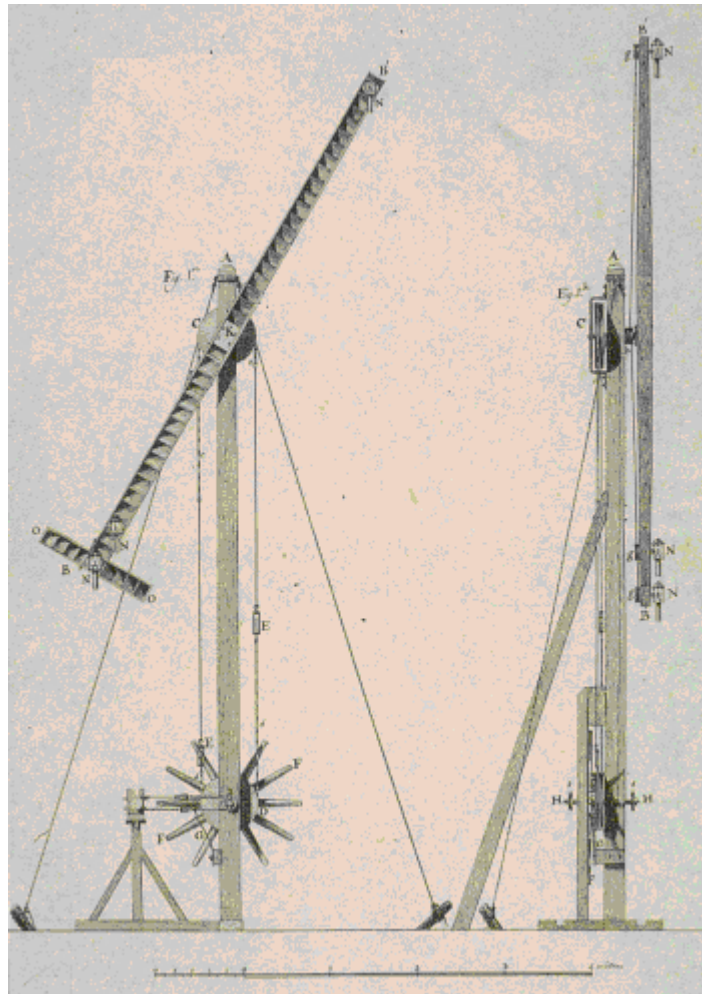


Figura 1.1. Telégrafo Óptico

- En 1.810, el físico francés Augustin-Jean Fresnel (realizó muchos descubrimientos en el campo de la óptica) establece las bases matemáticas sobre propagación de ondas.
- En 1.870, el físico británico John Tyndal (conocido por su estudio sobre los coloides), demostró que un chorro de agua era capaz de conducir un haz de luz, como lo muestra la Figura 1.2. [1]. [1,2]

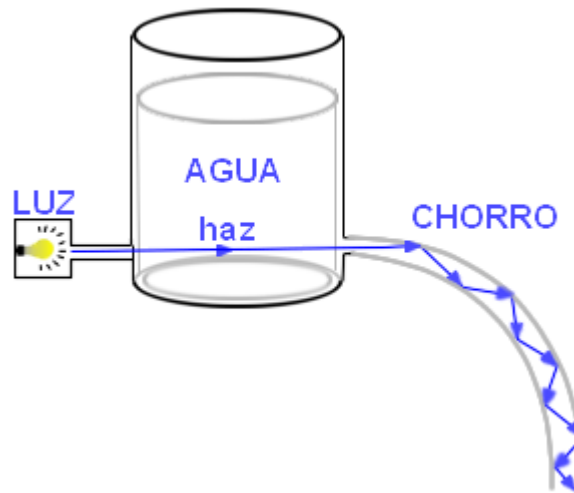


Figura 1.2. Experimento de Tyndall

- En 1.873, el físico británico James Clerk Maxwell (desarrollo un conjunto de ecuaciones para las leyes básicas de la electricidad y magnetismo), demostró que la luz puede estudiarse como una onda electromagnética.
- En 1.874, el ingeniero Chicolev en Rusia, conducía la luz solar a través de tubos metálicos huecos espejados por dentro, hacia recintos donde era peligroso el uso de antorchas o llamas, por ejemplo: en fábricas de pólvora.
- Por 1.880, el científico británico Alexander Graham Bell (especializado en transmisión de ondas sonoras y de tecnología aérea) construyó el fonógrafo (instrumento utilizado para transmitir la voz), ver Figura 1.3. [1], que enviaba mensajes vocales a corta distancia por medio de la luz. Sin embargo, resultaba con deficiencias en la transmisión por la falta de fuentes de luz adecuadas.[1,2]

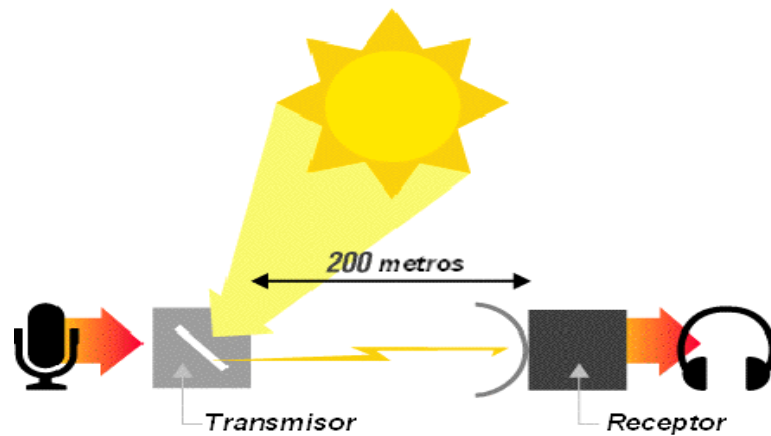


Figura 1.3. Fotófono de Graham Bell

- Con la invención y construcción del láser [4], ver Figura 1.4. [6], en la década de los 60's, se volvió a retomar la posibilidad de utilizar la luz como medio de comunicaciones fiables y de alto potencial de información por su elevada frecuencia portadora (1.014 Hz). Desde entonces, empezaron a realizarse estudios básicos sobre modulación y detección óptica. Los primeros experimentos basados en transmisión atmosférica, pusieron en completa evidencia diversos obstáculos, como: escasa fiabilidad debida a precipitaciones, contaminación o turbulencias atmosféricas, factores climáticos, entre otros. [5]

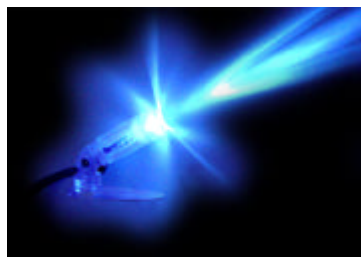


Figura 1.4. Luz de Láser

- El empleo de las fibras de vidrio como medio guía, ver Figura 1.5. [7], no tardó en resultar atractivo por sus características: tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y coste. En concreto, las fibras de vidrio

permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos, sin embargo, inicialmente presentaban elevadas atenuaciones a muy cortas distancias. [5]



Figura 1.5. Fibra de Vidrio

- En 1966, una publicación realizada por Kao y Hockman, produce un gran hito para las futuras comunicaciones por fibra óptica, ver Figura 1.6. [8] en el artículo, se señalaba que: “la atenuación observada en las fibras de vidrio, no se debía a mecanismos intrínsecos sino a impurezas originadas en el proceso de fabricación”. [5]



Figura 1.6. Fibra Óptica

- En 1.970, Corning obtiene fibras con atenuación de 20 dB/km. Así mismo, se crea el primer láser de AlGaAs capaz de operar de forma continua a temperatura ambiente, sin embargo, el tiempo de vida medio era de unas pocas horas.
- En 1.971, C.A. Burrus desarrolla un nuevo tipo de emisor de luz, el LED de pequeña superficie radiante, el cual era idóneo para el acoplamiento en F.O. Por lo que se refiere a los fotodetectores [9], los diodos PIN [10], ver Figura 1.7. y los de avalancha a base de Si, fueron desarrollados sin dificultades y ofrecían buenas características [12]. El inconveniente que poseían era, no poderse aplicar en longitud de onda mayores a 1.100 nm. El Ge era un buen candidato a ser utilizado para trabajar entre 1.100 y 1.600 nm, y ya en 1.966 se disponía de ellos con elevadas prestaciones eléctricas. Sin embargo, la corriente de oscuridad (ruido) del Ge es elevada y da motivo a ensayos de fotodiodos con materiales como InGaAsP. [1,5,9]

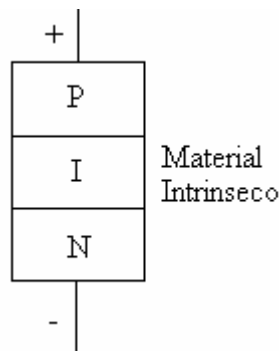


Figura 1.7. Diodo PIN

- En 1.972, se crea la Fibra Óptica [11] con núcleo líquido y atenuación de 8 dB/km.
- En 1.973, Corning obtiene Fibra Óptica de SiO₂ de alta pureza, con atenuación de 4 dB/km y deja obsoletas a las fibras de núcleo líquido.

- En 1.975, se descubría que las F.O. de SiO_2 presentan mínima dispersión en torno a 1.300 nm, lo cual suponía disponer de grandes anchos de banda para la transmisión; en cuanto a la dispersión del material, la fibra constituye un factor intrínseco muy limitativo.
- En 1.976, NTT y Fujicura obtienen Fibra Óptica con atenuación de 0,47 dB/km en longitudes de onda de 1.300 nm. La primera prueba con Fibra Óptica, se realizó en AT&T Atlanta (Estados Unidos) en 1.976. Para esto se instaló dos cables de fibra óptica, cada uno contenía 144 fibras y poseían una longitud de 630 m; las fibras fueron ubicadas en conductos subterráneos estándar, por lo que requería atravesar por curvas muy cerradas.
- El primer PIN de InGaAs se realiza en 1.977. En este año se empezó con la comercialización de fibra en Chicago, donde el sistema de F.O. transmitía voz, datos y señales de video a través de cables subterráneos de 2,4 km de longitud, los que conectaban dos oficinas de conmutación de la compañía Bell Telephone Company. Estas fueron las primeras generaciones, que se caracterizaban por transmitir datos varios kilómetros, sin necesidad de repetidores, su atenuación era de aproximadamente 2 dB/km.
- La segunda generación de fibra óptica, utilizó nuevos láser de InGaAsP los que emitían longitudes de onda a 1,3 μm con una atenuación de 0,5 dB/km y dispersión de pulso reducida a 850 nm.
- En 1.978, el total de fibra óptica instalada en el mundo era solamente de 960 km.

- En 1.979, se alcanzan atenuaciones 0,12 dB/km con fibras monomodo en longitudes de onda de 1.550 nm. Las nuevas posibilidades que ofrecían las F.O. también estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos fiables, de bajo consumo y tamaño reducido.
- En 1.980, AT&T presentó a la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (Federal Communications Commission) un proyecto de sistema, que conectaría las principales ciudades del corredor este, desde Boston a Washington. Ver Figura 1.8 [13]



Figura 1.8. Ciudades del corredor este de USA.

- En 1.983, una de las grandes compañías estadounidenses MCI Inc., fue la primera en tener Red Nacional con Fibra Óptica en Estados Unidos.
- En 1.984, se realizó la interconexión de F.O. del corredor este, desde Boston a Washington, el cable de fibra, medía menos de 1 pulg (2,5 cm) de diámetro, la cual proporcionaba 80.000 canales de voz para conversaciones telefónicas simultáneas.

- En 1.985, se introdujo la fibra de dispersión desplazada (DSF, Dispersion-Shifted Fiber), con lo que se anunciaba la nueva era de las comunicaciones. La longitud de onda de los datos enviados, estaba entre los 1.550 nm con dispersión cero, por lo que, las velocidades de transmisión eran mucho más rápidas y así podían recorrer distancias mayores.
- En 1.988, comenzó a funcionar el cable trasatlántico de fibra, usaba un cristal tan transparente que los amplificadores para regenerar las señales débiles se podían colocar a distancias de aproximadamente 64 km. A finales de los años ochenta, los sistemas tendían a operar a mayores longitudes de onda.
- En 1.990, los Laboratorios Bell fueron capaces de transmitir una señal de 2,5 Gb/s, a través, de 7.500 km sin regeneración. El sistema usaba un láser solitón (onda solitaria que se propaga sin deformarse en un medio no lineal) y un amplificador EDFA (Amplificadores de fibra dopada con erbio) como se muestra en la Figura 1.9. [14] que permitía a la onda de luz mantener su forma y densidad. [12]



Figura 1.9. Amplificador EDFA

- En 1.991, otro cable trasatlántico duplicó la capacidad del primero. Los cables que cruzan el Pacífico, también han entrado en funcionamiento ofreciendo un servicio telefónico fácil para el creciente comercio entre los Estados Unidos y Asia.
- En 1.998, los mismos laboratorios Bell, transmitieron 100 señales ópticas de 10 Gb/s por una sola fibra de 400 km. En este experimento, gracias a las técnicas WDM (wave-division multiplexing) que permite combinar múltiples longitudes de onda en una sola señal óptica, se incrementó la capacidad de transmisión de una fibra en un terabit por segundo (10^{12} b/s). [1,5,9]

1.2 DESARROLLO HISTORICO DE LAS COMUNICACIONES

- Las primeras manifestaciones de comunicación en la especie humana fueron: la voz, las señales de humo y los dibujos pictóricos. Luego al evolucionar a través de los años, fue la escritura, el medio que permitió un gran desarrollo a las culturas hoy conocidas. Las artes como la música y el teatro, forman parte fundamental en la formación y desarrollo de la misma especie y sus culturas, ya que cada una presenta sus características en forma particular.
- Por el desarrollo de las civilizaciones y de las lenguas escritas, surge la necesidad de comunicarse a distancia cada vez más extensas, con el fin de facilitar el comercio entre las diferentes naciones e imperios.
- Las civilizaciones antiguas utilizaban a mensajeros, los cuales recorrían largas distancias realizando postas para el envío de mensajes, más adelante, se utilizó al caballo y las palomas mensajeras; con el invento de la rueda, los anteriores medios casi desaparecieron.

- En 1752 Benjamin Franklin, (político, científico e inventor estadounidense) demostró, que los rayos son chispas eléctricas gigantescas, esto fue reconocido como el descubrimiento de la electricidad; de aquí en adelante grandes inventos fueron revolucionando este concepto, aunque resulte contradictorio, *las grandes distancias cada vez se fueron acercando*.
- En 1836 Samuel F. B. Morse, (artista e inventor estadounidense) creó lo que hoy es conocido como el Telégrafo.
- En 1874 el Ingeniero electrónico e inventor estadounidense Tomas Alva Edison, desarrolló la telegrafía cuádruple, la cual permitía transmitir dos mensajes simultáneamente en ambos sentidos. Estos inventos, fueron grandes avances, pero no eran suficientes en cuanto a la comunicación, es decir, esto era insuficiente pues no se lograba descubrir un medio para la comunicación de la voz.
- En 1876 Alexander Graham Bell, inventa el teléfono, realizando la primera comunicación el mismo año.
- A partir de 1876 los primeros sistemas telegráficos y telefónicos utilizaban cable para lograr la transmisión de mensajes.
- En 1887 mediante los avances en el estudio de la electricidad, el físico alemán Heinrich Hertz descubre, las ondas electromagnéticas (llamadas después ondas hertzianas), estableciendo de esta forma las bases para la telegrafía sin hilos.
- A partir del siglo XX, es cuando se inventan los tubos al vacío e incrementa el desarrollo en potencia de la electrónica, con la cual, se logran grandes avances, entre estos tenemos la invención de la radio.

- En 1.906 se realiza la primera transmisión radial en los Estados Unidos.
- En 1.925 existían alrededor de 600 emisoras de radio en todo el mundo. [15]

1.3 DESARROLLO HISTORICO DE LA TRANSMISIÓN DE DATOS

- En 1.826, el físico francés Nicéphore Niepce, consiguió la primera fotografía. Esto lo realizó utilizando una plancha metálica recubierta de betún y la mantuvo expuesta durante ocho horas.
- Unos años más tarde, el pintor e inventor francés Louis Jacques Mandé Daguerre, descubrió un proceso químico de revelado, el que permitía tiempos de exposición mucho menores, consiguiendo el tipo de fotografía conocido como daguerrotipo.
- En el siglo XIX, se inventa el cinetoscopio, presentado por Tomas A. Edison en 1.889 pero patentado en 1.891.
- En 1.895, los franceses hermanos Lumière, presentan y patentan el cinematógrafo. [16]
- A partir de 1.920 se le añade el sonido a las imágenes con lo que se crea el cine, muy disfrutado hasta nuestros días.
- Para la invención de la televisión se desarrollaron varios inventos como: disco perforado explorador, por el alemán Paul Gottlieb Nipkow en 1.884, el iconoscopio, ver Figura 1.10. [17], y el cinescopio, para transmitir y recibir, respectivamente, imágenes a distancia, inventados ambos en 1.923 por el ingeniero electrónico ruso Vladímir Kosma

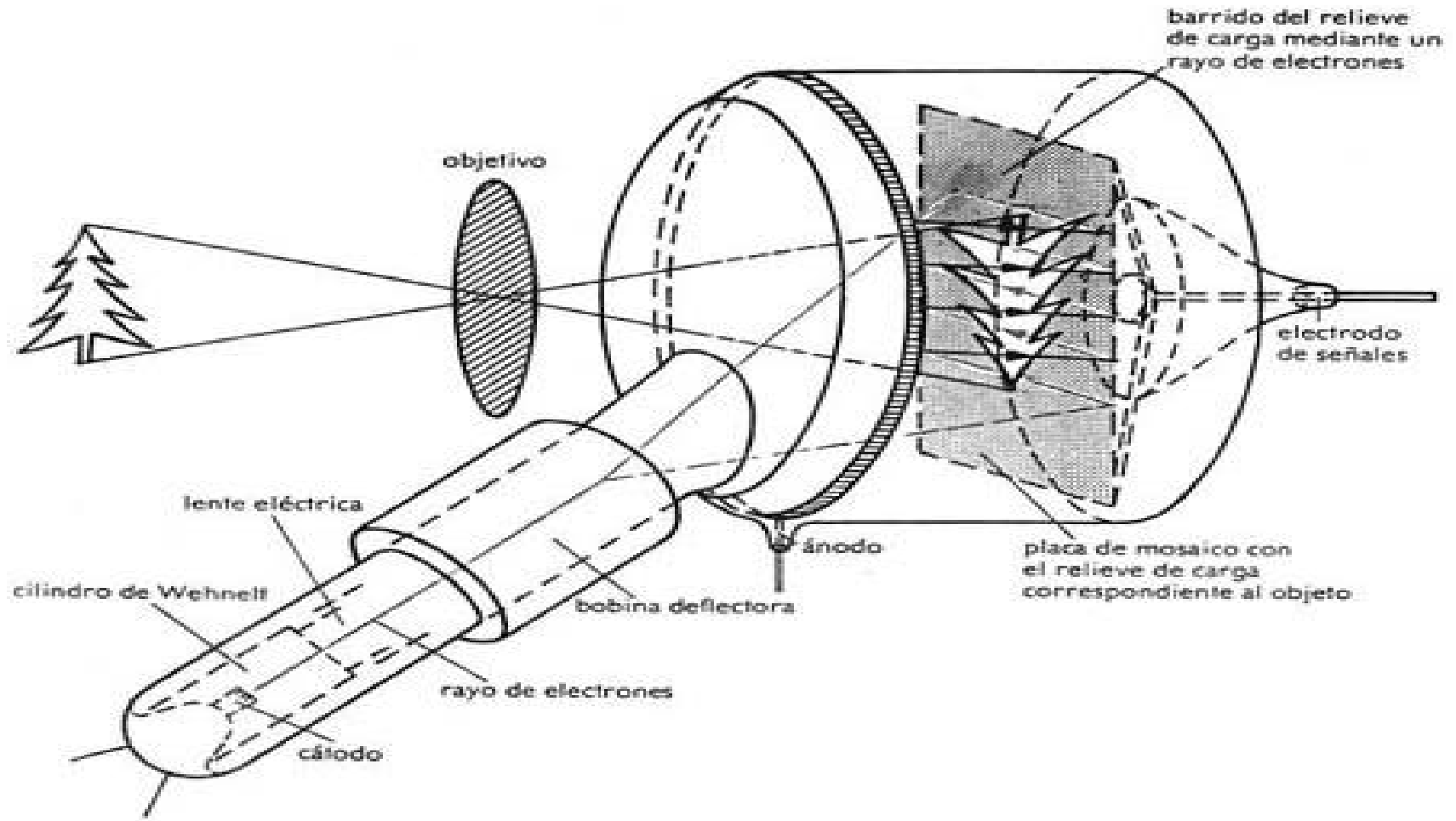


Figura 1.10. Vista de un iconoscopio

Zworykin. Así se logró una de las más grandes industrias a escala mundial, las *Cadenas de Televisión*. [15]

- Desde el aparecimiento de las primeras máquinas programables manualmente (máquina diferencial de Babbage, ver Figura 1.11. [18]) o mediante procedimientos electrónicos (ENIAC, ver Figura 1.12. [19], con tubos al vacío, en 1.947), hasta nuestros días, donde se han desarrollado potentes computadoras digitales que han sido introducidas en todas las áreas de la sociedad (industria, comercio, educación, *comunicación*, transporte, etc.). Con todos estos avances tecnológicos, la comunicación o transmisión de datos fue tomando cada vez más auge.

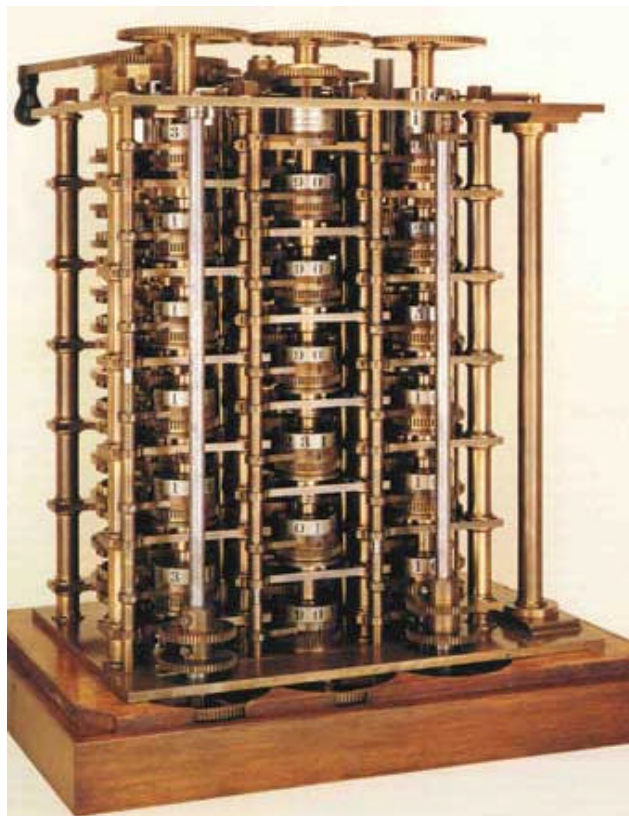


Figura 1.11. Máquina diferencial de Babbage

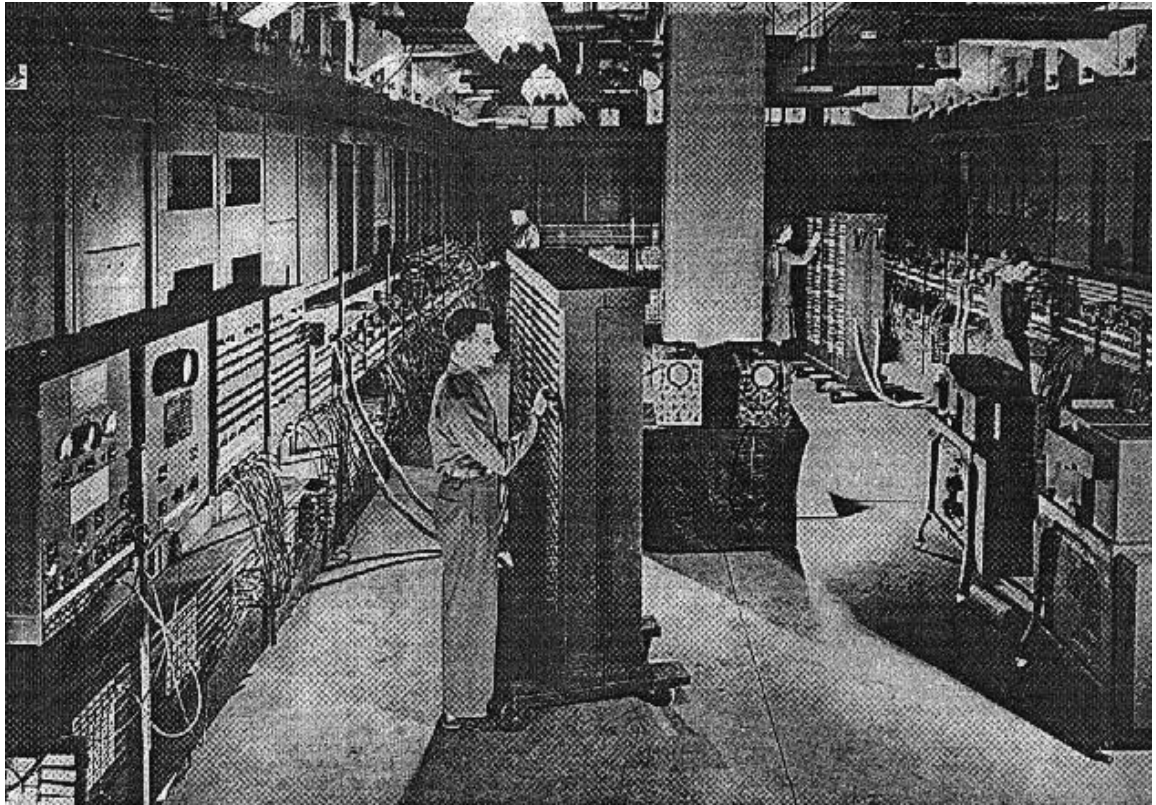


Figura 1.12. ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Calculador)

- Los primeros intentos y realizaciones en la tarea de fusionar ambas disciplinas - *comunicaciones y procesamiento de datos* - tuvieron lugar en Estados Unidos, durante el siglo XX, así se desarrollo una aplicación de inventario para la U.S. Army. Luego, en 1953, se desarrolla otra aplicación para la gestión y reserva de las plazas en la Compañía American Airlines, que constituyeron los dos primeros sistemas de procesamiento de datos a distancia.
- Con las exigencias de las nuevas necesidades en la comunicación y utilizando las herramientas existentes, surgen las *Redes de Computadoras*, las cuales son ya muy comunes en nuestros días. Una de estas redes se muestra en la Figura 1.13. [20].

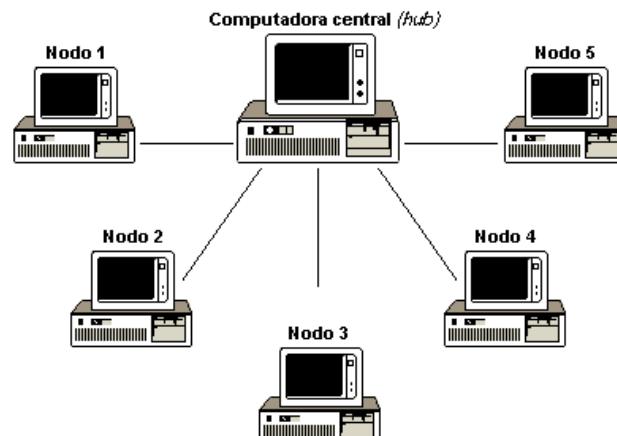


Figura 1.13. Redes de Computadoras

- Posteriormente con transmisión por televisión y el uso de las computadoras, se logra lanzar una nave espacial y tiempo después se lanzan los primeros *satélites artificiales*. Los cuales son aparatos muy sofisticados con fines múltiples (científicos, tecnológicos y militares). El primer satélite artificial fue, el Sputnik 1, lanzado por la Unión Soviética el 4 de octubre de 1.957, se lo muestra en la Figura 1.14. [21]. El primer satélite de Estados Unidos fue el Explorer 1, lanzado el 31 de enero de 1.958, resultando muy útil para el descubrimiento de los cinturones de radiación de la Tierra.



Figura 1.14. Satélite Sputnik 1

- En la actualidad existen muchos satélites artificiales, ver Figura 1.15. [22], para: comunicaciones, navegación, militares, meteorológicos, estudio de recursos terrestres y científicos. La mayoría de ellos son satélites de comunicación, utilizados para comunicación telefónica y transmisión de datos digitales e imágenes de televisión.



Figura 1. 15. Satélite artificial

- “Todo este desarrollo en las comunicaciones dio lugar a un nuevo concepto; *Telecomunicación*, que significa: Conjunto de medios de comunicación a distancia o transmisión de palabras, sonidos, imágenes o datos en forma de impulsos o señales electrónicas o electromagnéticas.” [23]

Referencias Bibliográficas:

- [1] <http://www.yio.com.ar/fo/historia.html>
- [2] <http://es.wikipedia.org>
- [3] <http://www.museoelder.org/betancourt/189%20Telgrafo%20optico.jpg>
- [4] Láser.- del inglés *laser*, acrónimo de **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation "Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación"
- [5]http://www.euram.com.ni/pverdes/Verdes_Informatica/Informatica_al_dia/fibra_optica_145.htm
- [6]http://www.sunbeamtech.com/PRODUCTS/images/laser_beam_led_b_550.jpg
- [7] <http://www.abcpedia.com/fibra-de-vidrio/fibra-de-vidrio-malla.jpg>
- [8] <http://www.multiphone.net.ve/images/fibra-Optica-frente.jpg>
- [9] Fotodetectores.- transductor de luz, que proporciona una señal eléctrica como respuesta a la radiación óptica que incide sobre la superficie sensora.
- [10] PIN.- diodo que presenta una región P y otra N fuertemente dopadas, separadas por una región de material que es casi intrínseco.
- [11] Fibra Óptica.- guía o conducto de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio "polisilicio", también puede ser de materiales plásticos, capaz de transportar una potencia óptica en forma de luz, normalmente emitida láser o LED.
- [12] <http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/semi/tdiodos/index.php>
- [13] http://nationalatlas.gov/articles/transportation/a_amtrak.html

[14] http://www.mutiwavephotonics.com/products/_D200773_f_cmyk.jpg

[15] <http://www.fortunecity.es/imaginapoder/artes/368/escuela/telecom/telecomunicacion.htm>

[16] cinematógrafo.- aparato que permite proyectar y reproducir sobre una pantalla imágenes en movimiento.

[17] <http://fisicarecreativa.net/comofunciona/imagenes/figura18-01.jpg>

[18] http://www.biografiasyvidas.com/biografia/b/fotos/babbage_2.jpg

[19] <http://www-ivs.cs.uni-magdeburg.de/bs/lehre/wise0102/progb/vortraege/kmuecke/eniac.jpg>

[20] <http://www.monografias.com/trabajos24/redes-computadoras/Image13078.gif>

[21] http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/image/sputnik_asm.jpg

[22] <http://www.noaanews.noaa.gov/stories/images/noaa-m2.jpg>

[23] <http://www.fortunecity.es/imaginapoder/artes/368/escuela/telecom/telecomunicacion.htm>

CAPITULO 2

2. TRANSMISIÓN DE DATOS Y FIBRA ÓPTICA

2.1 MANERAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE FIBRA ÓPTICA

Un sistema básico de transmisión que utiliza fibra óptica, se compone de los siguientes elementos, como se los muestra en la Figura 2.1.

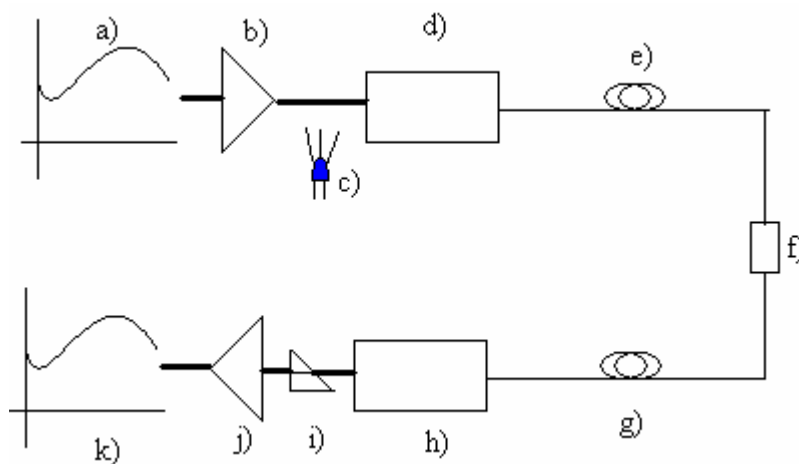


Figura 2.1. Sistema básico de transmisión con F.O.

- a) *Señal de entrada*, esta constituido por los datos a ser transmitidos.
- b) *Amplificador*, mecanismo mediante el cual se aumenta la(s) característica(s) físicas de la señal.
- c) *Fuente de luz*, es la encargada de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa; por esta razón, se le considera el componente activo de este proceso.
- d) *Corrector óptico*, nos permite realizar las correcciones de las señales luminosas a ser transmitidas.
- e) *Línea de fibra óptica* (primer tramo), es la fibra que nos permite utilizarla como medio de transmisión.
- f) *Empalme*, mecanismo mediante el cual se realiza la unión entre dos líneas de fibra óptica; en esta parte se ubican los repetidores cuando los sistemas son grandes.
- g) *Línea de fibra óptica* (segundo tramo), es la fibra que nos permite utilizarla como medio de transmisión.
- h) *Corrector óptico*, nos permite realizar las correcciones de las señales luminosas a ser receptadas.
- i) *Receptor*, llamado también detector óptico, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, y de esta manera es muy similar a la señal original.
- j) *Amplificador*, mecanismo mediante el cual se aumenta la(s) característica(s) físicas de la señal.

- k) *Señal de salida*, es la señal que contiene los datos y generalmente es similar a la señal de entrada.

En resumen, se puede decir que en este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y láser. Los diodos emisores de luz y los diodos láser, son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas. [1,2]

2.2 Origen de la fibra óptica

2.2.1 Composición de la fibra óptica

El conductor de fibra óptica, como se lo muestra en la Figura 2.2. [3], esta compuesto por dos elementos básicos: el núcleo y el revestimiento.

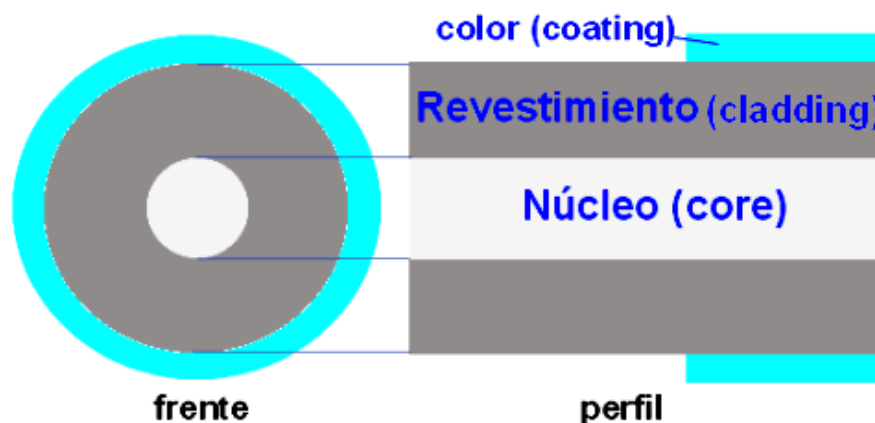


Figura. 2.2. Composición de la Fibra Óptica

Cada uno de estos elementos, posee material con distinto índice de refracción, conformando así una guía de ondas propagadora de las ondas luminosas. Así cuando se manifiesta, fibras de 50/125, 62,5/125 o 10/125 mm, se refiere a la relación entre el diámetro del núcleo y el recubrimiento.

En los conductores de fibra óptica, observar Figura 2.3. [4] se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso por su interior. El ángulo necesario para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior recibe el nombre de ángulo de aceptación. El seno de este ángulo se denomina apertura numérica, parámetro muy importante dentro de una fibra óptica.

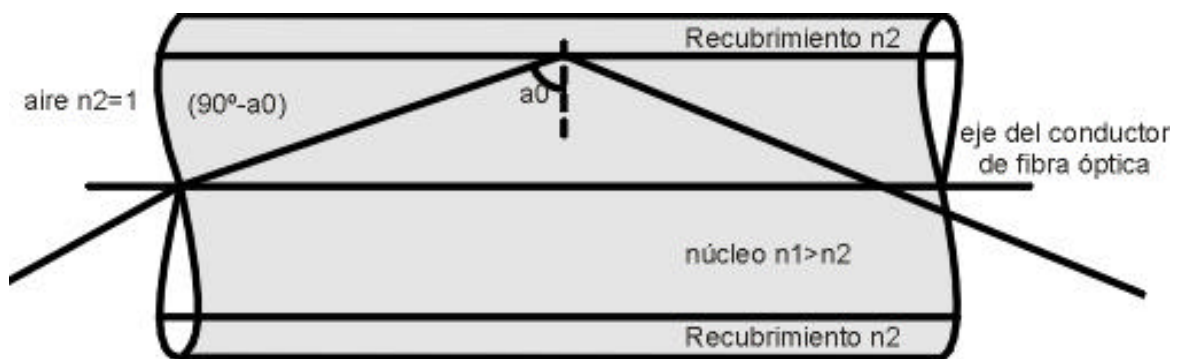


Figura. 2.3. Conducción de la luz a través de la F.O.

Un parámetro extrínseco a la fibra óptica es la longitud de onda central (**ventana de trabajo**) de la fuente luminosa que es utilizada para transmitir la información a lo largo de la fibra. La utilización de una longitud u otra determinan parámetros tan importantes como la atenuación que sufrirá la señal transmitida por cada kilómetro.

Las ventanas de trabajo más utilizadas son:

- Primera ventana a 850 nm,
- Segunda ventana a 1.300 nm
- Tercera ventana a 1.550 nm.

La atenuación es mayor si se trabaja en primera ventana y menor si se lo hace en tercera, esto lo podemos visualizar en la Figura 2.4. [5]. El hecho de que se suele utilizar la primera ventana en la transmisión de una señal es debido al menor coste de las fuentes luminosas utilizadas, esto porque tecnológicamente es más simple su fabricación. [5]

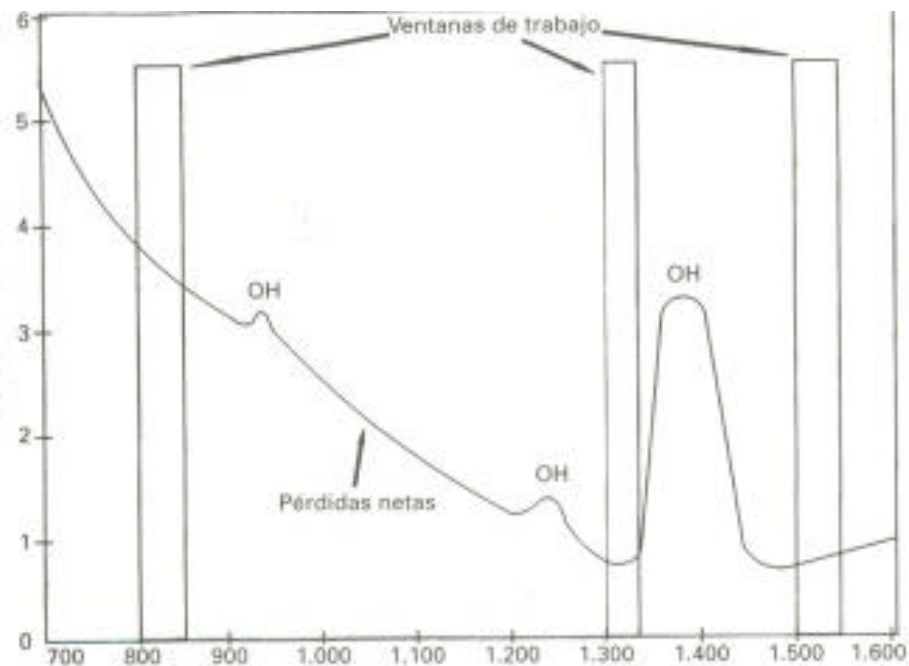


Figura. 2.4. Ventanas de trabajo de la fibra óptica

2.2.2 Propiedades de la Fibra Óptica

2.2.2.1 Atenuación

En telecomunicación, se denomina *atenuación de una señal*, sea esta acústica, eléctrica u óptica, a la pérdida de potencia sufrida por la misma al transitar por cualquier medio de transmisión.

Así, si se introduce una señal eléctrica con una potencia P_1 en un circuito pasivo, como puede ser un cable, esta sufrirá una atenuación y al final de dicho circuito se obtendrá una potencia P_2 . La atenuación (α) será igual a la diferencia entre ambas potencias.

No obstante, la atenuación no suele expresarse como diferencia de potencias sino en unidades logarítmicas como el decibelio (dB). [6]

La atenuación, se la expresa en decibelios por la fórmula siguiente:

$$\alpha = 10 \times \log \frac{P_1}{P_2} \quad (2.1)$$

En la Figura 2.5. [7], se puede observar el espectro de la curva de atenuación de fibra óptica hecha de silicio. La curva posee tres características principales:

- a) Una gran tendencia de atenuarse conforme se incrementa la longitud de onda (Dispersión Rayleigh).
- b) Atenuación en los picos de absorción asociados con el ión hidroxyl (OH⁻).

- c) Una tendencia por la atenuación para incrementar las longitudes de onda por arriba de los 1,6 μm , debidas a las pérdidas inducidas por la absorción del silicio.

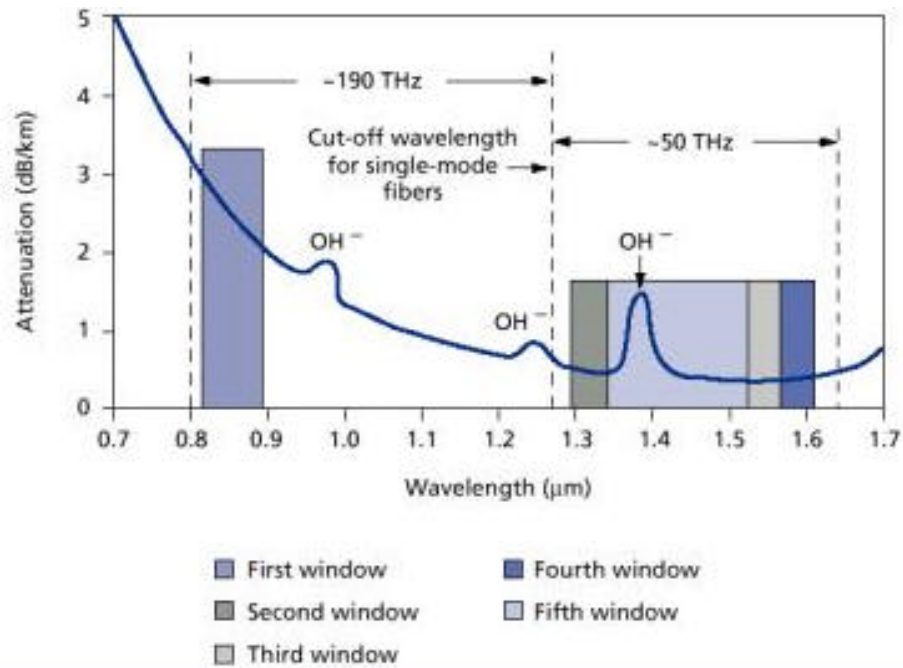


Figura 2.5. Atenuación de Fibra Óptica hecha de Silicio

2.2.2.2 Dispersión Cromática

La dispersión cromática describe la tendencia para diferentes longitudes de onda, las cuales viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes onda, donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual, puede producir una inaceptable velocidad del bit, la Figura 2.6. [8], muestra como la dispersión cromática cambia con la longitud de onda para tres diferentes tipos de fibra.

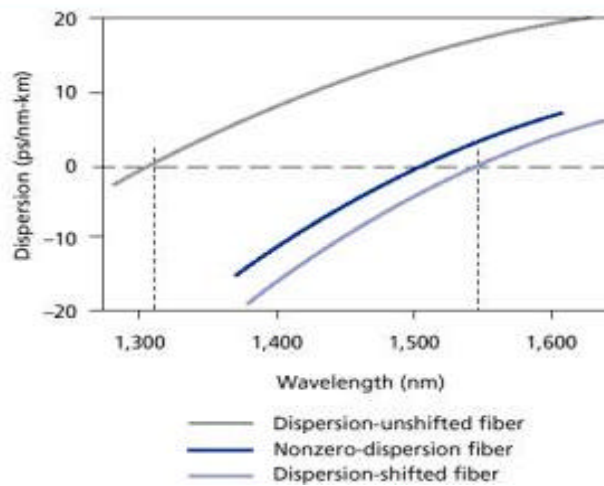


Figura 2.6. Dispersión Cromática Vs. Longitud de Onda

La dispersión cromática de una fibra, lo conforman dos componentes: Material y Guía de Onda, ver Figura 2.7. [7], el material depende de las características de dispersión de los dopantes y del silicio de construcción.

Los materiales no ofrecen mucha flexibilidad a ajustes significantes en la dispersión de la fibra, por lo que el esfuerzo se ha enfocado en alterar la dispersión de guías de ondas de las fibras ópticas.

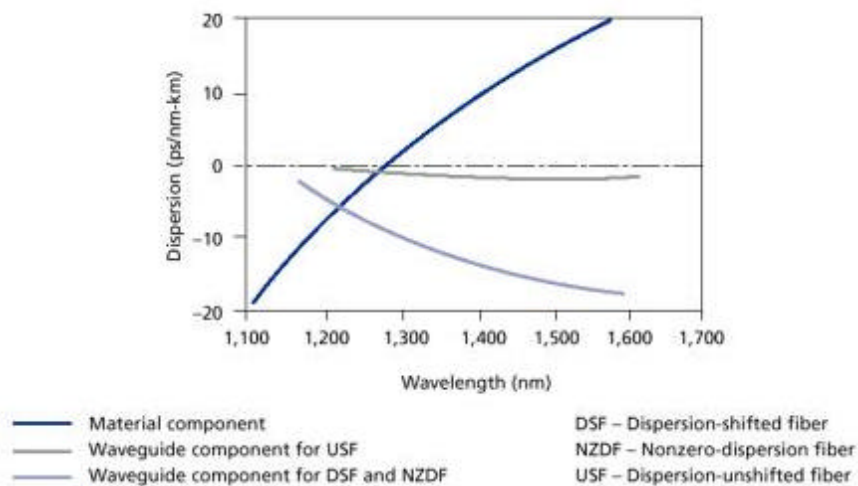


Figura 2.7. Componentes de Dispersión de los Materiales y Guías de Onda

2.2.2.3 Dispersión por Modo de Polarización

La polarización es la propiedad de la luz, que se relaciona con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra puede vibrar en uno o dos modos de polarización.

En la Figura 2.8. [7], se pueden observar los dos modos principales de polarización de una fibra asimétrica, la cual es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje X es arbitrariamente conocido como modo lento, mientras que el eje Y como modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD, Polarization Mode Dispersion), es típicamente medida en picosegundos. Sino se controla correctamente el PMD, puede producir errores excesivos en los bits para la transmisión en sistemas digitales, pudiendo distorsionar señales de video transmitidos, al usar formato de modulación de amplitud analógico.

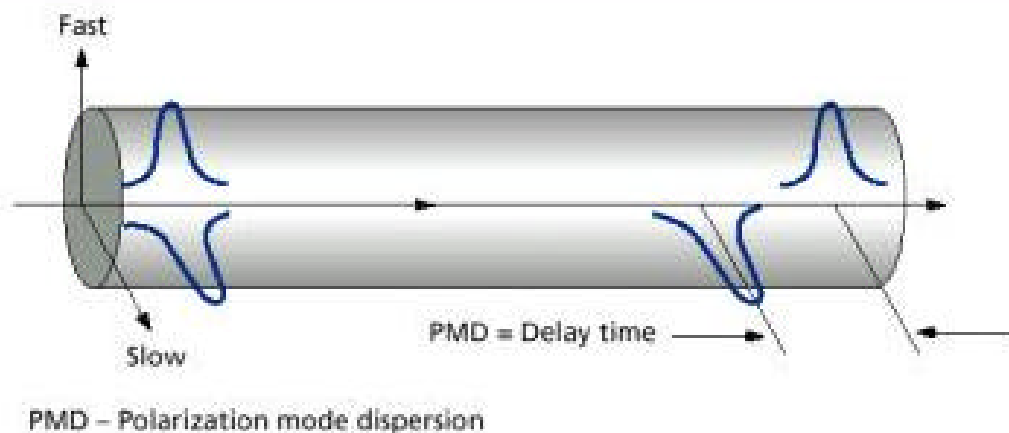


Figura 2.8. PMD en una Fibra Monomodo de asimetría uniforme

2.2.2.4 No linealidad de la Fibra Óptica

Los altos niveles de potencia disponibles en la fibra óptica y los amplificadores ópticos, generan señales que interactúan con la fibra. Estas señales producen una variedad de efectos no lineales, los cuales al no ser controlados pueden afectar de forma adversa al desarrollo del sistema.

Las no linealidades de la fibra caen dentro de dos categorías: dispersión estimulada e índices de fluctuación refractivos.

Los niveles de potencia en los cuales los diferentes fenómenos no lineales se manifiestan, son conocidos como thresholds.

Dispersión Estimulada (Stimulated Scattering)

Esta no linealidad generalmente ocurre en sistemas de modulación intensos, cuando las señales ópticas interactúan con las ondas acústicas o con vibraciones moleculares en la fibra de Si. Esta interacción, dispersa la luz y la cambia a una longitud de onda mayor.

Hay dos formas de dispersión estimulada:

- a) Stimulated Brillouin Scattering
- b) Stimulated Raman Scattering.

Indices de Fluctuaciones Refractivas (Refractive Index Fluctuations)

El índice de refracción de una fibra óptica de Si, presenta siempre una constante a bajos niveles de potencia óptica, pero las altas potencias relacionadas con los amplificadores ópticos pueden modular el índice, variando así la intensidad óptica de la señal de transmisión.

Los efectos de la no linealidad de los índices refractivos caen dentro de tres categorías:

- a) Self –Phase Modulation
- b) Croos-Phase Modulation
- c) Four-Wave Mixing. [8]

2.3 Construcción de la fibra óptica

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos. El grosor de una fibra es similar al de un cabello humano, ver Figura 2.9. [9]. Son fabricadas a altas temperaturas con base en silicio. Su proceso de elaboración es controlado por medios computarizados, permitiendo así, que el índice de refracción de su núcleo, el cual es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite desviaciones; entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia.



Figura 2.9. Fibra Óptica

Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas, por lo tanto son ideales para ser incorporadas en cables, sin poseer componente conductor y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

2.3.1 Inmunidad a las Interferencias

Las fibras utilizan medios transparentes para la propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz, esto hace que la fibra óptica no necesite voltajes ni corrientes, por lo que lo convierte en un medio de comunicación completamente inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su

alrededor, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro. Esto le permitió ser uno de los principales factores que motivaron su uso militar, a demás, para poder obtener información de la fibra hay que provocarle un daño, el mismo que podría detectarse fácilmente con equipo especializado.

La ventaja que tiene la fibra de no necesitar corrientes ni voltaje, hace que esta sea idónea para aplicaciones en donde se requiere de una probabilidad nula de provocar chispas, como el caso de pozos petroleros y las industrias químicas, en donde existe la necesidad de transportar la información a través de medios explosivos.

2.3.2 Microcurvatura

Son fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra óptica. Este fenómeno puede ser provocado por esfuerzos durante la manufactura o instalación y también por variaciones dimensionales de los materiales del cable debidos a cambios de temperatura. La sensibilidad a la microcurvaturas es función de la diferencia del índice de refracción, así como también de los diámetros del núcleo y del revestimiento. Las microcurvaturas incrementan las perdidas ópticas.

2.3.3 Curvatura

La curvatura de una fibra óptica es causada el momento de la fabricación del cable, así como también por dobleces suscitados en la instalación y/o variación en los materiales del cable debidos a cambio de temperatura.

Los esfuerzos provocados por la torcedura de las fibras son básicamente una fuerza transversal y un esfuerzo longitudinal. El esfuerzo longitudinal no provoca torcedura cuando se trabaja para alargar la fibra, es decir, no hay cambio en las perdidas ópticas. Sin embargo, cuando se trabaja para contraer la fibra, este esfuerzo provoca que la fibra forme bucles y se curve, de tal manera que la

perdida óptica se incrementa. Por lo tanto, al evaluar los diseños de los cables se debe poner especial atención en:

- La carga transversal, cuando se trabaja con la fibra durante el cableado, instalación y utilización.
- El esfuerzo de contracción, el cual ocurre a bajas temperaturas debido al encogimiento de los elementos del cable.

Por las razones anteriores, se puede manifestar que el eje de la fibra puede curvarse severamente provocando así grandes incrementos en las pérdidas ópticas. Para prevenir esta situación se toma en cuenta lo siguiente:

- Mantener un radio de curvatura determinada, seleccionando el radio y la longitud del cable de acuerdo a las normativas.
- Reducir variaciones térmicas de las fibras protegidas con pequeños coeficientes de expansión térmica disponiéndolas alrededor de un elemento con buenas propiedades térmicas.

2.3.4 Configuración de una fibra

A nivel comercial se puede encontrar tres tipos de configuraciones de fibra, ver Figura 2.13. [10]:

- Fibra monomodo de índice de escalonado
- Fibra multimodo de índice de escalón.
- Fibra multimodo de índice graduado.

2.3.4.1 Fibra monomodo de índice de escalonado

Esta fibra óptica se caracteriza por poseer el menor diámetro, por lo que solamente permite viajar al rayo óptico central, como se lo puede apreciar en la Figura 2.10. [9]. Es muy difícil de construir y manipular. Por estas razones es más costosa, pero permite distancias de transmisión mucho mayores.

La luz posee una sola trayectoria a través del cable por medio de reflexión; los rayos que entran se propagan directamente por el núcleo, siguiendo la misma trayectoria y requiriendo la misma cantidad de tiempo para viajar la distancia del cable.

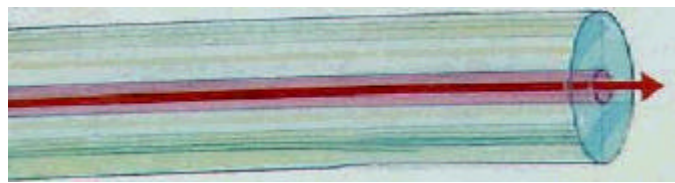


Figura 2.10. Fibra Monomodo de índice escalonado

2.3.4.2 Fibra multimodo de índice escalonado

La Fibra multimodo, fue la primera en fabricarse y comercializarse. Su nombre se debe a que transporta múltiples modos de forma simultánea, ver Figura 2.11. [9]; este tipo de fibra se caracteriza por tener un diámetro del núcleo mucho mayor que las fibras monomodo. El número de modos de propagación por una fibra óptica depende de su *apertura numérica* o cono de aceptación de rayos de luz a la entrada. Cuando existe un mayor diámetro del núcleo, facilita el acoplamiento de la fibra, pero su principal inconveniente es que posee un ancho de banda reducido, como consecuencia de la dispersión modal. Los diámetros de núcleo y cubierta típicos de estas fibras son 50/125 y 62,5/125 mm.

Cada uno de los rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar dentro de la fibra. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir esta limitada. Esto debido a que con grandes distancias los desfases serían enormes y no se podría tener la señal original.

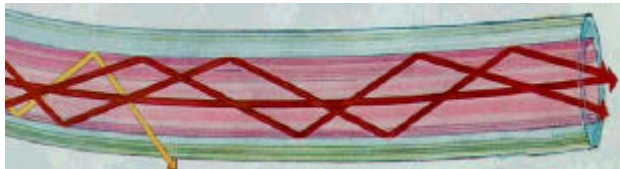


Figura 2.11. Fibra óptica multimodo de índice escalonado.

2.3.4.3 Fibra multimodo de índice graduado

Este tipo de fibra poseen un núcleo central que tiene un índice refractivo no uniforme, es máximo en el centro y disminuye hacia los extremos, como se muestra en la Figura 2.12. [9]; la luz se propaga diagonalmente por medio de la refracción interceptando así una interfase de menos a más denso. Como el índice refractivo disminuye con la distancia, desde el centro y la velocidad es inversamente proporcional a él, los rayos que viajan más lejos del centro se propagan a una velocidad mayor.

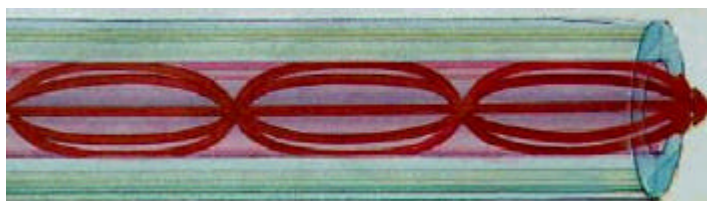


Figura 2.12. Fibra óptica multimodo de índice graduado.

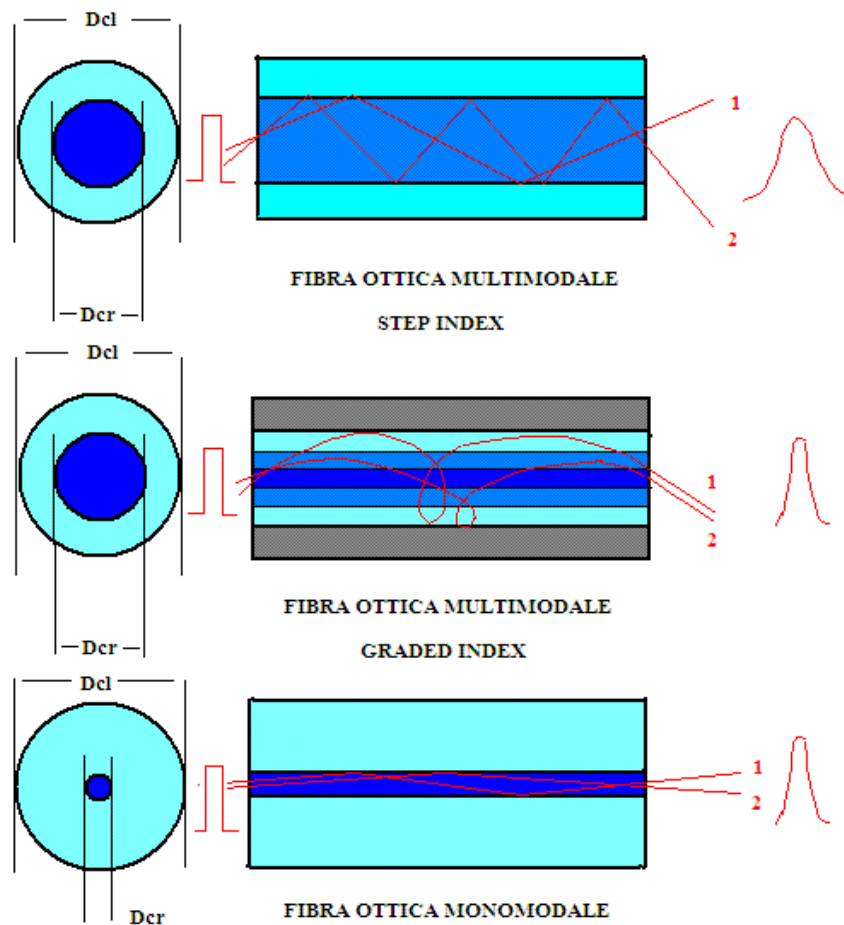


Figura 2.13. Tipos de Fibra Óptica

2.3.5 Pérdidas en los cables

- Por absorción de luz, la cual es convertida en calor. ultravioleta, infrarroja y de resonancia de ión.
- Por dispersión de Rayleigh o materiales: se refiere a la luz difractada que se escapa por la cubierta al chocar contra una irregularidad del vidrio, que es generada en el proceso de fabricación.
- Cromática o de longitud de onda: Es la luz emitida por un LED, la misma que se descompone en sus diferentes longitudes de onda constitutivas

viajando a distintas velocidades por la fibra llegando al otro extremo a diferentes tiempos.

- De radiación: la que es causada por dobleces e irregularidades en la fibra.
- Modal: causada por diferencias de tiempos de propagación de los rayos de luz, debido a que toman diferentes trayectorias por una fibra.
- De acoplamiento: En las conexiones de fuente a fibra, fibra a fibra y/o fibra a fotodetector, es causadas por problemas de alineación.

2.4 Evolución

La evolución de la Fibra óptica es muy extensa, aquí consideramos los tipos de F.O. más utilizados a nivel comercial:

2.4.1 Tipos de cables

2.4.1.1 Patchcord simple CPS (Cable de Interconexión Simple)

Es generalmente utilizado para interconectar equipos de audio, video, datos así como equipos de instrumentación y control. Ver Figura 2.14. [16].

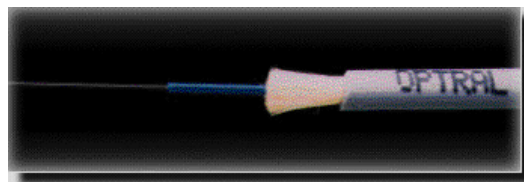


Figura 2.14. Patchcord simple CPS

Descripción y aplicaciones

Es conocido a nivel comercial como: Cable de Interconexión Simple o por sus siglas CPS.

Es utilizado para confeccionar cordones y latiguillos así como para la interconexión de equipos terminales.

Opciones

- PVC-FR flexible
- Poliuretano FR (Flame Retardant).

Tabla 2.1. Patchcord simple CPS

Fibras	Monomodo
Diámetro (mm)	3,0
Peso (Kg/Km)	10
Tensión máxima en instalación (Kg)	50
Tensión máxima permanente (Kg)	30
Radio de curvatura (cms)	3

2.4.1.2 Patchcord doble CPD/CIP (Cable de Interconexión Dual)

Es utilizado para transmisión horizontal de datos y señales en el interior de edificios. Ver Figura 2.15. [16].

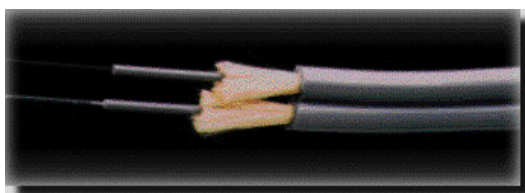


Figura 2.15. Patchcord doble CPD/CIP

Descripción y aplicaciones

Conocido comercialmente como: cable de interconexión dual o por sus siglas CIP o CPD.

Se lo utiliza de forma fundamental para la interconexión de equipos terminales.

Opciones

- PVC-FR flexible
- Poliuretano FR (Flame Retardant).

Tabla 2.2. Patchcord doble CPD/CIP

Fibras	CIP	CPD
Número de fibras	2	2
Diámetro (mm)	4 x 7	3,0 x 6,5
Peso (Kg/Km)	25	20
Tensión máxima en instalación (Kg)	100	100
Tensión máxima permanente (Kg)	50	50
Radio de curvatura (cms)	4	3

2.4.1.3 Cable de Distribución de Armadura Dieléctrica (CDAD)

Es un cable muy robusto, como se observa en la Figura 2.16. [16], que posee excelente resistencia mecánica, muy apta para instalaciones de interior y exterior, además posee una armadura dieléctrica como protección antirroedores.



Figura 2.16. Cable CDAD

Descripción y aplicaciones

Comercialmente conocido como: Cable de Distribución de Armadura Dieléctrica o sus siglas CDAD.

Es un cable compacto y ligero, el cual es utilizado para la distribución de datos y señales en interiores de edificios y en campus.

Opciones

- PVC-FR flexible
- Poliuretano FR (Flame Retardant).

Tabla 2.3. Cable interior – exterior CDAD

Fibras (hilos)	2	4	6	8	12
Diámetro (mm)	4,5	4,5	5	6	7
Peso (Kg/Km)	18	20	25	35	40
Tensión máxima en instalación (Kg)	100	100	130	140	160
Tensión máxima permanente (Kg)	40	40	50	55	60
Radio de curvatura (cms)	5	5	5	6	7

2.4.1.4 Cable de Distribución de Armado Metálico (CDAM)

Este es un cable muy robusto, ideal para instalaciones en interior, así como en exterior con armadura metálica como protección antirroedores. Ver Figura 2.17. [16].



Figura 2.17. Cable CDAM

Descripción y aplicaciones

Este cable es conocido a nivel comercial como: Cable de Distribución de Armadura Metálica o CDAM.

Muy robusto, totalmente dieléctrico y protegido de los roedores, con fibra de vidrio. Puede ser instalado indistintamente en interiores o exteriores.

Opciones

- HFLSFR (Halogen Free, Low Smoke, Flame Retardant).
- Poliuretano-FR (Flame Retardant).

Tabla 2.4. Cable interior - exterior CDAM

Fibras (hilos)	4	6	8	12
Diámetro (mm)	8	9,5	10	11
Peso (Kg/Km)	95	120	140	170
Tensión máxima instalación (Kg)	160	200	210	230
Tensión máxima permanente (Kg)	60	70	80	95
Radio de curvatura (cms)	9	10	11	12

2.4.1.5 Cable de Distribución Interior Reforzado (CDIR)

Es un cable muy robusto con una excelente resistencia mecánica y gran facilidad de conexión. Ver Figura 2.18. [16].

Se lo utiliza para la transmisión horizontal de datos y señales en el interior de edificios.

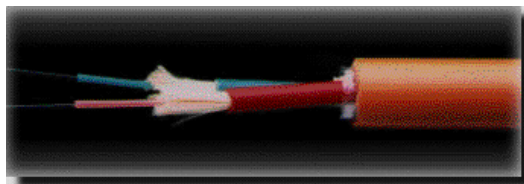


Figura 2.18. Cable CDIR

Descripción y aplicaciones

- Conocido comercialmente como: Cable Distribución Interior Reforzado o CDIR.
- Es un cable para instalación interior-exterior, muy robusto y protegido de los roedores con hilos de acero.

2.4.2 Comparación de Construcción y Ventajas de los Cables de F.O.

Tabla 2.5. Comparación de Construcción y ventajas de cables de F.O.

CABLES DE F.O.	CPS	CPD	CIP	CDAD	CDAM	CDIR
CONSTRUCCIÓN						
Fibra Óptica	X	X	X	X	X	X
Recubrimiento Ajustado	X	X	X	X	X	X
Refuerzos de Aramida	X	X	X	X	X	X
Cubierta HFLSFR	X	X	X	X		X
Cubierta individual HFLSFR		X	X			X
Asiento de Armadura					X	X
Armadura de hilos de acero					X	X
Cubierta de Caucho Acrílico-FR					X	X
VENTAJAS						
Monomodo	X					
Multimodo	X	X	X	X	X	X
Compacto y ligero	X	X	X	X	X	X
Conexión directa	X	X	X	X	X	X
Flexible y resistente	X	X	X	X	X	X
Antihumedad	X	X	X	X	X	X
Excelente resistencia mecánica	X	X	X	X	X	X
Fácil de Pelar	X	X	X	X	X	X
Libre de gel	X	X	X	X	X	X
No propaga la llama	X	X	X	X	X	X
Baja emisión de humo	X	X	X	X		
Libre de halógenos HFLSFR	X	X	X	X		
Totalmente dieléctrico	X	X	X	X		
Muy resistente		X	X		X	X
Construcción muy robusta					X	X
Protección antirroedores					X	X

2.5 Ventajas y desventajas de la F.O.

Entre las principales ventajas que ofrece la fibra óptica se tiene:

1. Disponibilidad de materia prima.
2. Mayor capacidad de transmisión, debido al mayor ancho de banda del cual se dispone en frecuencias ópticas.
3. Inmunidad a transmisiones cruzadas entre cables, las cuales son causadas por inducción magnética.
4. Inmunidad a interferencia estática, debida a las fuentes de ruido.
5. Resistencia a extremos ambientales. Son menos afectadas por líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura.
6. Seguridad en cuanto a instalación y mantenimiento. Las fibras de vidrio y los plásticos no son conductores de electricidad, por lo que pueden ser usados cerca de líquidos y gases volátiles.
7. Mayores distancias de transmisión.
8. Resulta difícil de detectar e interferir la información que lleva la F.O., caso contrario ocurre en el cobre.
9. Muy pequeña y ligera.
10. Tiempo de vida óptimo.

11. Posee muy baja atenuación.
12. Supresión de ruidos en las transmisiones.
13. Tiempos de respuesta mínimos en la reparación de daños.
14. Conexión de servicios multimedia y sistema de televisión por cable.

Las desventajas que posee la fibra óptica son:

1. Derecho de vía.
2. Fragilidad de las fibras.
3. Disponibilidad limitada de conectores.
4. Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.
5. Expuesta a accidentes y actos vandálicos.
6. Estricto procedimiento de fabricación.
7. El costo de la fibra sólo se justifica cuando su gran capacidad de ancho de banda y baja atenuación son requeridos. Para bajo ancho de banda puede ser una solución mucho más costosa que el conductor de cobre.
8. La fibra óptica no transmite energía eléctrica, esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado

desde una línea eléctrica. La energía debe proveerse por conductores separados.

9. Las moléculas de hidrógeno pueden difundirse en las fibras de silicio y producir cambios en la atenuación. El agua corroe la superficie del vidrio y resulta ser el mecanismo más importante para el envejecimiento de la fibra óptica.

2.6 Fibra óptica en la actualidad

La Fibra Óptica en la actualidad, viene a desarrollar un papel muy importante dentro de la rama de las telecomunicaciones, debido a que en ocasiones es más barata que un sistema satelital e incluso que un sistema inalámbrico para determinado tipo de información que se desea transmitir.

La transmisión mediante el cable de fibra óptica, que inicialmente empezó por desarrollarse para la comunicación entre continentes mediante cableado submarino, pasó a desarrollarse más tarde entre grandes ciudades, barrios, edificios y de ahí hasta llegar en la actualidad a cada casa (esto en algunos países). Así, la gran revolución que hoy en día se está produciendo en los sistemas de fibra óptica, es el paso de la misma del ámbito público al privado; esto ha permitido que, en cada casa que posee conexión con F.O. la transmisión tenga anchos de banda similares a las comunicaciones intercontinentales.

Por la utilización de la fibra óptica en el ámbito privado, las grandes compañías productoras de ésta han centrado sus esfuerzos para lograr un abaratamiento de costes que permita al usuario beneficiarse de las ventajas que ésta ofrece.

Algunas observaciones importantes que han permitido mejorar los sistemas son:

3M - Jim Bylander, encargado de la División de Sistemas de Telecomunicación de la empresa norteamericana 3M, centró sus investigaciones en los conectores para así disminuir los costes. Manifestó lo siguiente: “En aquella época la gente veía la fibra óptica como algo demasiado costoso para ser utilizado en las conexiones de ordenadores a nivel de redes locales. Entonces empezamos a analizar cómo era la instalación de los cables de fibra óptica y rápidamente hallamos el motivo de su elevado coste: no se trataba de la fabricación de la fibra óptica en sí, sino de las conexiones entre fibras. Nuestro análisis nos llevó a la conclusión de que la conexión e instalación de los distintos cables representaba casi el 85 por ciento del coste total”. [11]

Bylander - Los conectores antiguos utilizaban una férula, ésta se encontraba formada por un tubo rígido de cerámica que protegía y alineaba la fibra; éstos representaban la más avanzada tecnología, pero cada conexión requería una serie de pasos entre pegar, pulir y probar, por lo que, la instalación de un experto en fibra óptica era de treinta minutos aproximadamente.

“Para abaratar costes, el equipo de investigación de Bylander empezó a dedicar sus estudios en la manera de conectar los cables de fibra óptica, de modo que, se emplee menor tiempo para su instalación, así como cantidad de material para su fabricación. Como consecuencia de dichas investigaciones surgieron nuevos modelos de conectores que engloban en una misma pieza el envío y transmisión de señal y que reducen el número de piezas necesarias a ocho - frente a las cincuenta necesarias en los conectores estándar- y el tiempo de montaje a dos minutos.” [12]

Idate - Los avances relacionados con abaratar costes se vieron incrementados por la tendencia de las distintas compañías que fabrican y utilizan la F.O. para unificar esfuerzos mediante adquisiciones y fusiones encaminadas a compartir

desarrollos y optimización de procesos. Como resultado, las empresas tienden a ofrecer a nivel comercial sistemas integrales de redes, que comprenden no sólo el cableado de fibra óptica sino también los conmutadores, convertidores, transmisores y receptores de señales.

Vanessa Marsh - "Una proyección realizada por Idate (Instituto audiovisual de telecomunicaciones de Europa) estima que el mercado de Internet por fibra óptica será en todo el mundo de 42 millones de abonados en 2010. Asia y Estados Unidos serán las regiones líderes en este consumo, seguidas de Europa, que pasará de los 650.000 abonados actuales a los 7 millones dentro de cuatro años. Pero la transición tecnológica puede resultar ruinosa para algunos operadores, advierte Forrester Research. " [13]

2.7 Tipos de fibra óptica en la actualidad

En la actualidad todas las empresas que fabrican la fibra óptica se han involucrado en ofrecer la fibra de mejores prestaciones en el mercado. Entre las fibras de la actualidad tenemos las siguientes:

2.7.1 Fibra óptica monomodo estándar (Standard Single-Mode Fiber, SSMF)

Esta fibra tiene la característica de atenuar la señal 0,2 dB/km y una dispersión cromática de unos 16 ps/km en tercera ventana (1.550 nm). La longitud de onda de dispersión nula de esta fibra se sitúa en torno a los 1.310 nm (segunda ventana) donde su atenuación aumenta ligeramente. Se encuentra normalizada de acuerdo a la ITU G.652. Muchos kilómetros de esta fibra se encuentran instalados a nivel mundial; utilizan amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFA).

2.7.2 Fibra óptica de dispersión desplazada (Dispersion-Shifted Fiber, DSF)

Cuando se realiza modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se logra desplazar la longitud de onda de dispersión nula hacia la tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazada, ver Figura 2.19. [14]. Sus pérdidas son ligeramente superiores (0,25 dB/km a 1.550 nm), su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, debido a que su área efectiva es bastante más pequeña comparada con la fibra monomodo estándar. Este tipo de fibras no son adecuadas para sistemas DWDM (Dense wavelength Division Multiplexing), ya que el fenómeno no lineal de mezclado de cuatro ondas (FWM, Four-Wave-Mixing) produce degradaciones significativas. Este tipo de fibras se describe en la recomendación ITU G.653.

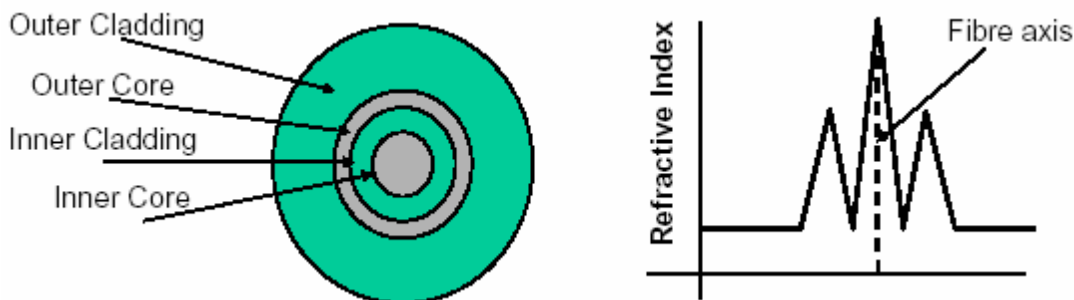


Figura 2.19. Fibra óptica de dispersión desplazada DSF.

2.7.3 Fibra óptica de dispersión desplazada no nula (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber, NZDSF)

Para evitar los problemas de no linealidades que tiene la fibra de dispersión desplazada surgieron este tipo de fibras, las cuales se caracterizan por tener valores de dispersión cromática muy reducidos, pero no nulos. En el mercado se puede encontrar fibras con valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-), con el fin de ser utilizadas en sistemas de gestión de dispersión. En la recomendación ITU G.655 se puede encontrar información sobre este tipo de fibras.

2.7.4 Fibra óptica de dispersión compensada (Dispersion Compensating Fiber, DCF)

Esta fibra se caracteriza por tener por un valor de dispersión cromática elevado, además posee signo contrario al de la fibra estándar. Es muy utilizada en sistemas de compensación de dispersión, únicamente colocando un pequeño tramo de DCF (dispersion-compensating fiber) para compensar la dispersión cromática acumulada en el enlace óptico. Como datos negativos posee mayor atenuación que la fibra estándar (0,5 dB/km aprox.) y una menor área efectiva.

2.7.5 Fibra óptica de polarización estable (Polarization-Maintaining Fiber, PMF)

Esta fibra es otro tipo de fibra monomodo que es diseñada para permitir la propagación de una única polarización de la señal óptica de entrada. Se utiliza generalmente para dispositivos sensibles a la polarización. Para funcionar se introduce deformaciones geométricas en el núcleo de la fibra durante el proceso de fabricación, para conseguir un comportamiento birrefringente (doble refracción, divide un rayo de luz en dos linealmente polarizados de manera perpendicular).

2.7.6 Fibra óptica de plástico (Plastic Optical Fiber, POF)

La fibra óptica de plástico, ver Figura 2.20. [15], constituyen una solución de bajo coste para la realización de conexiones ópticas en distancias cortas, como por ejemplo en el interior de dispositivos, automóviles, redes en el hogar, etc. Su principal característica es tener pérdidas de 0,15-0,2 dB/m a 650 nm (se suele emplear como transmisor un LED rojo) y tiene un ancho de banda reducido como consecuencia de su gran apertura numérica (diámetros del núcleo del orden de 1 mm), por otra parte ofrecen como ventajas un manejo e instalación sencillo y una mayor robustez. Las pérdidas que se producen son muy bajas con radios de curvatura de hasta 25 mm, lo que facilita su instalación en paredes y lugares estrechos.



Figura 2.20. Fibra óptica de plástico.

2.7.7 Fibra óptica de cristal fotónico (PCF, photonic crystal fiber)

Este tipo de fibras son las más recientes, son hechas de sílice, se caracterizan por tener una microestructura de agujeros de aire, ver Figura 2.21. [17], la cual se extiende a lo largo de la misma. Este inusual mecanismo de guiado, que se basa en el denominado guiado intrabanda, esto hace que presenten toda una serie de propiedades únicas, las mismas que las diferencian de las fibras ordinarias. Entre estas propiedades destaca, la posibilidad de construirlas con núcleos de tamaño muy pequeño, para acrecentar los efectos no lineales, así como con bandas de propagación monomodo muy extensas. Además, la dispersión cromática de estas fibras puede ajustarse mediante el diseño adecuado de su geometría, o sea de su microestructura, pudiendo obtenerse valores inalcanzables con la tecnología de fibra óptica convencional. [16]

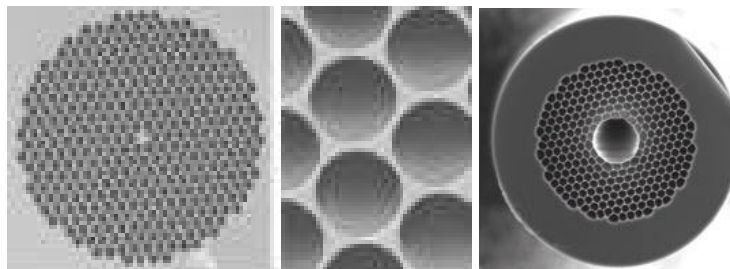


Figura 2.21. Fibra óptica de cristal fotónico

Referencia Bibliográfica

- [1] <http://www.monografias.com/trabajos17/transmision-datos/transmision-datos.shtml>
- [2] <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>
- [3] <http://www.yio.com.ar/fo/>
- [4] <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/optral/cap2/fibra-4.htm>
- [5] <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/L/Lafibraopticacomomediode transmision/ =57>
- [6] <http://es.wikipedia.org/wiki/Atenuaci%C3%B3n>
- [7] http://www.andinalink.com/es/educational/work_shops_bb/fibra_optica/propiedadesfo.asp
- [8] http://www.cybercollege.com/pix/tp065_2.jpg
- [9] <http://www.richardcrebeck.com/cclca/redes/index.html>
- [10] <http://www.peoplephysics.com/images/leggifisiche/tipifibreottiche.gif>
- [11] <http://dis.um.es/~barzana/enlaces/cablered.htm>
- [12] <http://dis.um.es/~barzana/enlaces/cablered.htm>
- [13] http://www.tendencias21.net/Europa-sera-la-tercera-region-del-mundo-en-Internet-por-fibra-optica-en-2010_a1163.html
- [14] <http://dar.ju.edu.jo/mansour/optical/Dispersion.htm>
- [15] <http://www.timbercon.com/Plastic-Optical-Fiber/index.html>

[16] http://www.radioptica.com/Fibra/tipos_fibra_optica.asp

[17] <http://www.rdmag.com/ShowPR.aspx>

CAPITULO 3

3. WDM

3.1 ORÍGENES DE WDM

WDM (Wave Division Multiplexing) (Multiplexación por División de Onda) Es una tecnología, la cual, permite trabajar con grandes anchos de banda para la transmisión. **WDM** involucra el empaquetado de múltiples flujos de transmisión óptica en una sola fibra, mediante el envío de cada flujo en un canal de color separado, ver Figura 3.1. [1]. El primer sistema WDM en combinar dos señales portadoras hizo su aparición alrededor de 1.985. Se basa en la norma ITU – T G 692

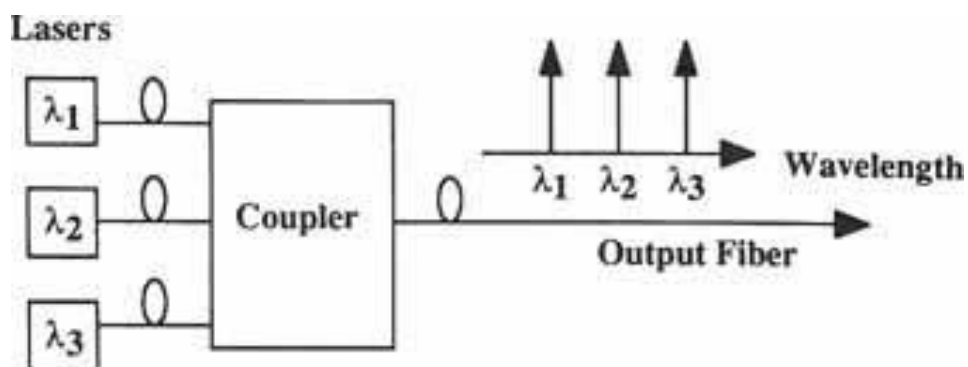


Figura 3.1. Transmisión de datos utilizando WDM

La multiplexación por división en longitud de onda, multiplexación óptica o WDM tiene su origen, en la posibilidad de acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz; cada una con una longitud de onda o frecuencia óptica diferente, sobre una misma fibra óptica. Después de la transmisión a través de la fibra, cada una de estas señales o canales ópticos, pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final. El componente encargado de inyectar las distintas fuentes sobre la misma fibra óptica es el multiplexor, ver Figura 3.2. [2], el de separarlas es el demultiplexor, y el de adaptar las longitudes de onda recibidas a una longitud de onda estandarizada, estabilizada y susceptible de ser multiplexada y demultiplexada, es el transpondedor.

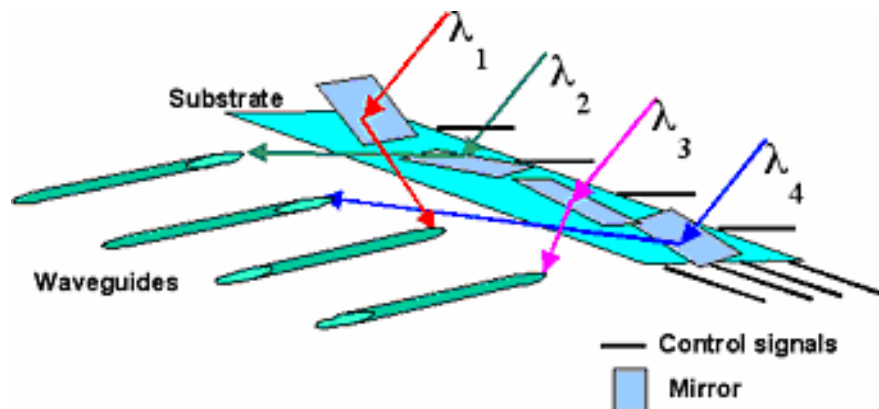


Figura 3.2. Multiplexor de WDM

Los primeros comienzos de WDM fue a fines de la década de los 80's, ver Figura 3.3. utilizaban dos longitudes de onda ampliamente espaciadas en las regiones de los 1.310 nm y 1.550 nm (o 850 nm y 1.310 nm), algunas veces llamadas WDM banda ancha (Wideband WDM). A comienzos de los 90's floreció una segunda generación de WDM, algunas veces llamada WDM Banda estrecha (Narrowband WDM), en la cual se utilizaban entre dos a ocho canales, que estaban separados a intervalos de aproximadamente 400 GHz en la ventana de los 1.550 nm.

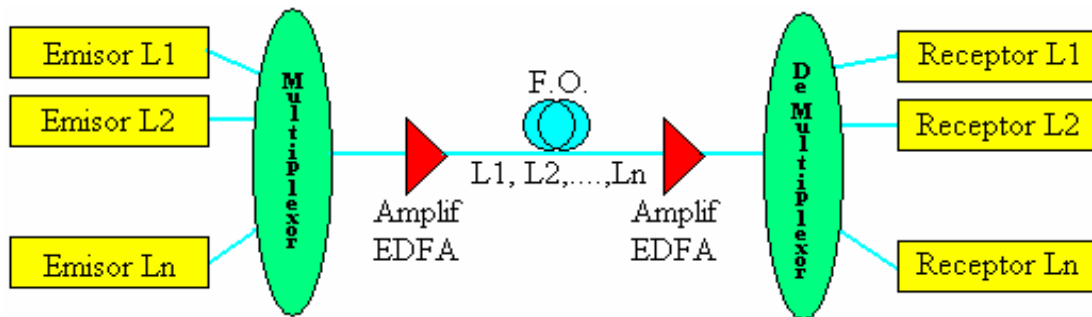


Figura 3.3. Comienzos de WDM

A mediados de los 90's, emergieron los sistemas DWDM, ver Figura 3.4. [3], por ser densos se los llamó así, con 16 a 40 canales con una separación entre ellos de 100 GHz y 200 GHz. A fines de los 90's, los sistemas DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing,) evolucionaron, a tal punto que eran capaz de utilizar de 64 a 160 canales paralelos, empaquetados densamente a intervalos de 50 GHz y 25 GHz. Con el crecimiento en la densidad de longitudes de onda, los sistemas también avanzaron en la flexibilidad de configuración, por medio de funciones de subida/bajada (Add/Drop), ver Figura 3.5. [4] y capacidades de administración.

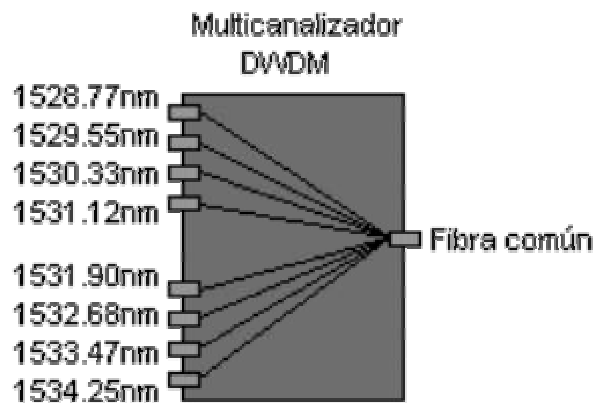


Figura 3.4. DWDM de 8 canales

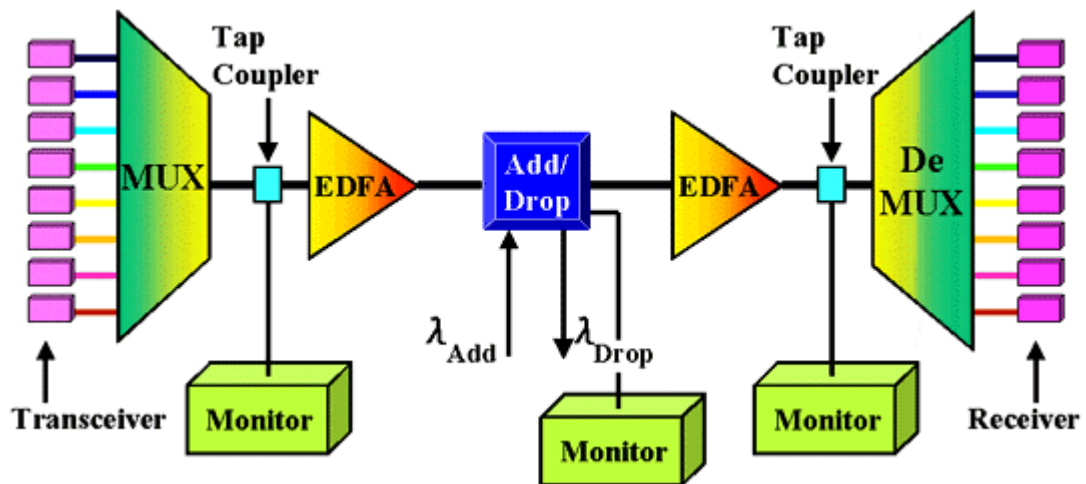


Figura 3.5. Sistema DWDM con ADD/DROP

El incremento de la densidad de canales, como resultado de la tecnología DWDM, tuvo un impacto dramático en la capacidad de transmisión en la fibra. En 1.995, cuando los primeros sistemas a 10 Gbps fueron demostrados, la tasa de incremento de la capacidad fue de un múltiplo lineal de cuatro cada cuatro años, esto se lo puede ver en la Figura 3.6. [5,6,7]

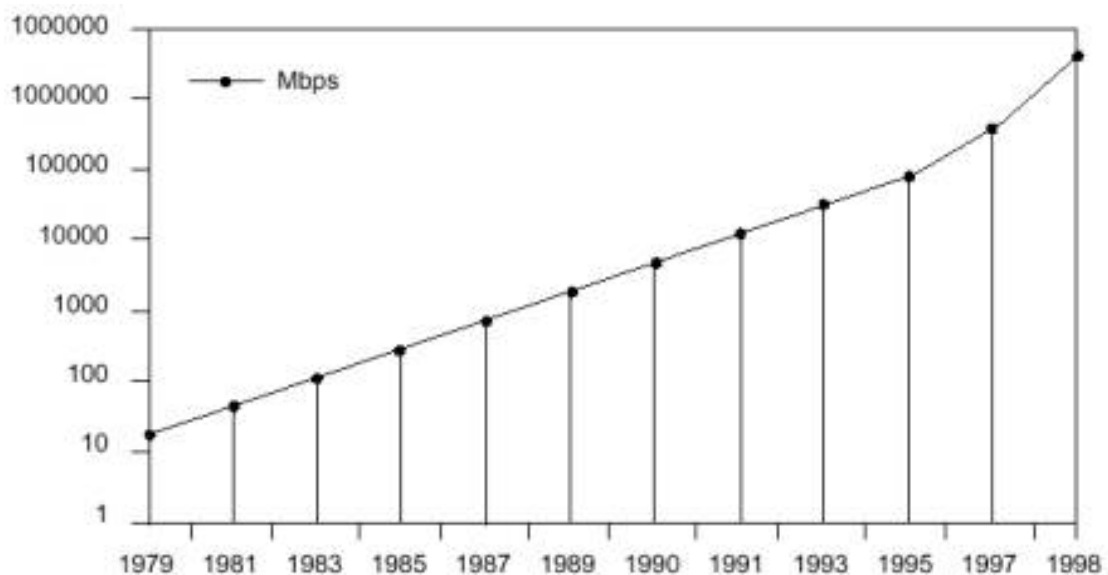


Figura 3.6. Crecimiento de la capacidad en la fibra

3.2 Tipos de WDM

En WDM se distinguen típicamente cuatro familias de sistemas:

- DWDM de ultra larga distancia.
- DWDM de larga distancia.
- DWDM metropolitano.
- CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing).

Las cuatro familias de WDM utilizan componentes ópticos distintos, siendo más complejos y caros los que soportan mayores capacidades por canal y agregadas, y los que soportan mayores distancias de transmisión.

Tabla 3.1. Características de WDM

Tecnología WDM	Frecuencia (GHz)	Longitud de onda (nm)	Velocidad de Transferencia (Gbps)	Distancia Máxima (km)
DWDM de larga distancia	50 - 100	0,4 - 0,8	160	800
DWDM de ultralarga distancia	50 - 100	0,4 - 0,8	160	4.000
DWDM metropolitano	100 - 200	0,8 - 1,6	40	300
CWDM	2.500	20	18	80

La tecnología CWDM se beneficia por tener menor coste de los componentes ópticos asociados a una tecnología menos compleja, la misma que siendo limitada en cuanto a capacidad y distancia, se adapta perfectamente a las necesidades de las redes empresariales y metropolitanas de corta distancia. La norma denominada ITU-T G694.2, se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 220nm (o 2.500 GHz) en el rango de 1.270 a 1.610nm

pudiendo así transportar 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo . Ver Figura 3.7. [8]

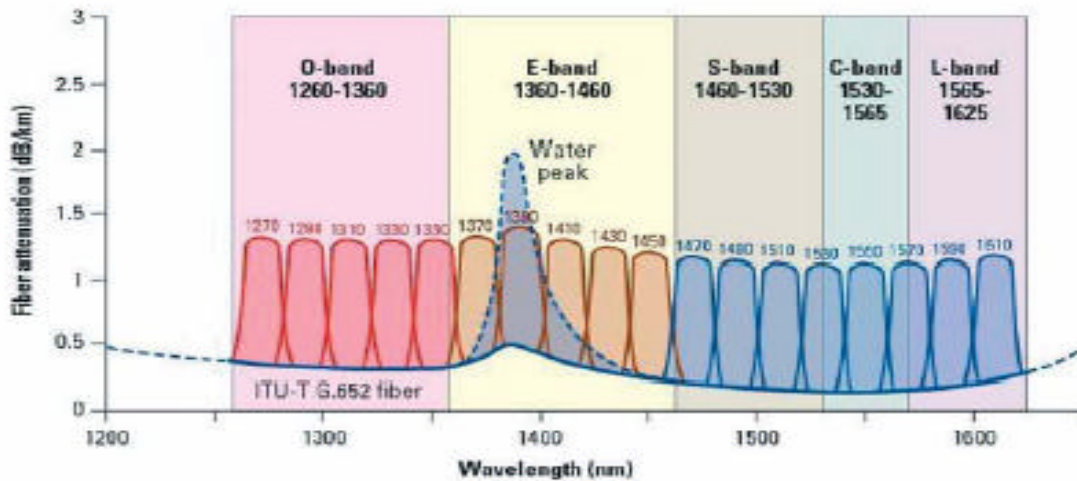


Figura 3.7. Rejilla de trabajo de las Longitudes de onda en CWDM

3.3 Evolución de WDM

La primera generación de redes WDM, surgió para aliviar el problema de la extenuación de capacidad de las redes SDH [9]/SONET[10], y tal y como se ha comentado, consistía simplemente en combinar múltiples longitudes de onda en una misma fibra. El número de canales era pequeño, del orden de 16 Gbps y la protección se realizaba en las capas 2 o 3.

La segunda generación de redes metropolitanas DWDM, dobla el número de canales e introduce protección de anillo y OADMs [11] estáticos, permitiendo que los proveedores de servicio proporcionen servicios basados en longitud de onda. Adicionalmente, las arquitecturas de red que emplean DWDM de segunda generación soportan interfaces multiservicio protegidos, tales como Gigabit Ethernet, ESCON [12] y SDH/SONET. Si bien estas mejoras son enormes en comparación con las redes SDH/SONET convencionales; la segunda generación de redes posee limitaciones en cuanto a capacidad, coste, escalabilidad y gestión de red. La conmutación entre múltiples anillos metropolitanos, se realiza de forma

centralizada y las longitudes de onda se demultiplexan antes de ser conmutadas, (enrutadas) de forma individual. Esto da lugar a conmutadores con un gran número de puertos (por ejemplo, 1024 x 1024) para poder gestionar el tráfico entre anillos, resultando en costes elevados. Adicionalmente, la mayoría de OXCs [13] existentes, realizan conversiones optoelectrónicas a la entrada y a la salida del conmutador debido a la falta de estándares de interconexión de longitudes de onda en entornos donde existen equipos de múltiples fabricantes.

Finalmente, las redes ópticas de tercera generación, se caracterizan por ofrecer gestión dinámica de las longitudes de onda directamente en el dominio óptico, proporcionando ventajas significativas con respecto a la segunda generación de redes. Asimismo, el número de canales es mayor y existe una monitorización de prestaciones más sofisticada que se realiza sobre cada canal óptico. Por medio de láser sintonizables y filtros, junto con tarjetas de interfaz de múltiples velocidades, se puede realizar la gestión dinámica de longitudes de onda en el dominio óptico de una forma rápida y eficiente. Sin embargo, la clave para ganar clientes consiste en su habilidad para proporcionar nuevos servicios o cambiar la capacidad de los existentes de forma rápida. [14]

3.4 WDM en la actualidad

La introducción de nuevos servicios, constituyen un valor añadido tales como: vídeo bajo demanda y aplicaciones multimedia, lo cual requiere de una gran cantidad de ancho de banda, para satisfacer las necesidades de los usuarios. Las soluciones que tienen los proveedores de servicio, para satisfacer este aumento en la demanda de tráfico son diversas. Por una parte, se puede instalar más fibra, aunque ésta es una solución cara y en algunos casos inviable. Otra solución, consiste en utilizar técnicas de multiplexación por división en el tiempo (TDM), donde el aumento de capacidad, se consigue por medio de ranuras de tiempo más pequeñas, que permiten transmitir mayor cantidad de bits (datos) por segundo. Esta tecnología ha sido utilizada en las redes de transporte basadas en los estándares SDH/SONET. No obstante, el principal problema al que se

enfrentan los proveedores de servicio, se relaciona directamente con una capacidad mayor. Basándose en la jerarquía SDH, la capacidad inmediatamente superior a los 10 Gbit/s son los 40 Gbit/s, por lo que, se obtiene más capacidad de la que pudiera necesitarse en un principio, con el correspondiente desembolso económico, puesto que hay que actualizar todos los transmisores y receptores del sistema.

Finalmente, la tercera alternativa consiste en la utilización de DWDM, la cual permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes.

Por medio de multiplexores, DWDM combina multitud de canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que pueden ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir señales de diferentes velocidades y formatos: SDH/SONET, IP [15], ATM [16], etc. Es decir, DWDM puede multiplexar varias señales TDM sobre la misma fibra. Se espera que las futuras redes DWDM transporten 80 canales OC-48/STM-16 de 2,5 Gbit/s (un total de 200 Gbit/s), ó 40 canales OC-192/STM-64 de 10 Gbit/s (un total de 400 Gbit/s), la capacidad equivalente a unos 90.000 volúmenes de enciclopedia por segundo. A diferencia del sistema WDM convencional, en este caso todas las portadoras ópticas viajan por la fibra con separaciones inferiores a 1 nm.

Una de las principales ventajas de los sistemas DWDM es su modularidad, la cual permite crear una infraestructura conocida como "grow as you go", que se basa en añadir nuevos canales ópticos de forma flexible en función de las demandas de los usuarios. Así, los proveedores de servicio pueden reducir los costes iniciales significativamente, al tiempo que se desarrolla progresivamente la infraestructura de red que servirá en el futuro.

Sin embargo, la revolución de los sistemas DWDM no hubiese sido posible sin las características clave de tres tipos de tecnología:

- La capacidad que poseen los diodos láser de emitir luz a una longitud de onda estable y precisa con un ancho de línea espectral muy estrecho.
- El formidable ancho de banda de la fibra óptica (varios THz), el cual no ha sido aprovechado completamente durante tiempo.
- La transparencia de los amplificadores ópticos de fibra (EDFA) a las señales de modulación y su habilidad para amplificar de forma uniforme varios canales simultáneamente.

Los rápidos avances producidos en DWDM en los últimos años, junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda, están provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas. Así, la tecnología DWDM, se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad, hacia las redes metropolitanas y de acceso. Este éxito ha sido producto de las soluciones DWDM de largo alcance que han permitido un aumento espectacular en la capacidad de las redes ópticas de transporte.

Hoy día, la tecnología permite combinar hasta 160 señales con un ancho de banda efectivo de unos 10 Gigabits por segundo, a través de la Figura 3.8. [18], se puede asimilar la capacidad que posee CWDM. Ya las operadoras están probando los 400Gbits. No obstante la capacidad teórica de una sola fibra óptica se estima en 1,6 Terabits por segundo. De manera que es posible alcanzar mayores capacidades en el futuro, a medida que avance la tecnología. [17]

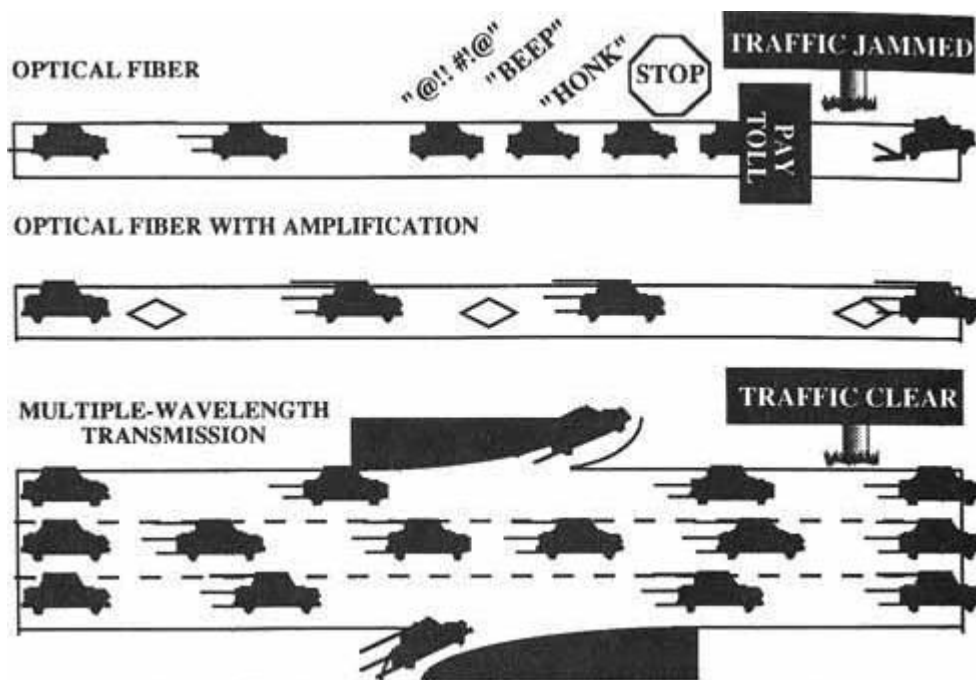


Figura 3.8. Múltiples transmisiones de longitudes de onda se representan por una línea de vía ancha

3.5 Redes completamente ópticas (AON)

Una propiedad única de una Red Completamente Ópticas (AON, All Optical Networking) esta dada por el uso de WDM, la cual posee la habilidad de enrutar las longitudes de onda. El camino de la señal, a través de las redes, es determinada por la longitud de onda y la señal de origen, así como el estado de los cambios en las redes y el cambio en las longitudes de onda.

Otra descripción sobre el desarrollo óptico, viene a ser el como proveer la ruta de las longitudes de onda en un enlace transparente de caminos entre los terminales de redes. Un camino de enlace es un camino que es atravesado por una señal óptica desde una fuente a un destino singular que puede incluir cambios de longitudes de onda completamente ópticas. De forma similar, un camino de longitud de onda, es un camino de enlace con cambios en las longitudes de onda. Esto provee transparencia en una vía simple para usuarios heterogéneos o interesantes recursos de redes. Por ejemplo: cierta longitud de

onda, puede llevar señales análogas con otra longitud de onda digital, enviadas las dos simultáneamente. Además, pueden usar terminales de redes para diferentes formatos de modulación y estos terminales pueden ser actualizados con cualquier reconfiguración de red. Como una filosofía, la red debe proveer ancho de banda sobre demanda y permitir a determinados usuarios este requerimiento individual del hardware.

3.5.1 Usuarios, terminales ópticos y servicios AON

Las AON poseen tres tipos básicos de servicio entre los terminales ópticos (OTs, optical terminals), denominados como: A, B y C. A su vez, los OTs proveen servicios más complejos como conexiones SONET, a través de estos servicios. Muchos tipos diferentes de terminales ópticos coexisten sobre una AON, proporcionando diferentes servicios a los usuarios de las redes completamente ópticas. Debe notarse que los usuarios de las AON pueden ser usuarios finales como una estación de trabajo y servidores de video o pueden ser otro tipo de equipos de redes como son los multiplexores SONET Add Drop, switches ATM, o gateways para otras redes. En las pruebas de laboratorio y en un futuro cercano, se espera tener muchos usuarios conectados a un OT; sin embargo, un terminal óptico puede eventualmente ser integrado con las secciones de los dispositivos de entrada y salida.

Servicios A y B son servicios transparentes, por ejemplo: un terminal óptico usando canales A o B pueden transmitir con cualquier dato y formato de modulación, mientras los niveles de la fuente de poder y anchos de banda especificados no sean excedidos sobre los puntos de la red de acceso. El servicio A es físicamente un servicio transparente, con circuitos de cambio que utilizan conectores OTs, con un camino de enlace limpio (canal A). Las redes completamente ópticas permiten conexiones punto a punto OC-192, conexiones HIPPI (High Performance Parallel Interface) y conexiones punto a multipunto para video transmisiones.

Servicio C, es un bajo servicio de data gramas con OTs que pueden transmitir un paquete con datos específicos y formato de modulación. El servicio C no es transparente porque este debe servir como un enlace de comunicación común entre todos los usuarios de las AON. Esta es una señalización de red que es primariamente usada para planificar recursos, manejo de red, administración y mantenimiento.

3.5.2 Arquitectura de AON

Las redes completamente ópticas poseen de tres niveles de jerarquía de subredes: subred de Nivel-0, subred de Nivel-1 y Nivel-2. Cada subred es así mismo una red totalmente óptica capaz de operar en forma autónoma. Una subred de Nivel-0 posee gran desempeño en redes de área local (LAN, Local Area Network). Para conectar un OT a un Nivel-0 se lo hace con un par de fibras. Para conectar muchos Niveles-0, es necesario que cada uno se conecte a un Nivel-1 a través de un par de fibras. Un Nivel-1 es una red de área metropolitana (MAN, Metropolitan Area Network), que conecta un juego de Niveles-0, usando rutas de longitud de onda pasiva. El Nivel-2 es una red de área extensa (WAN, Wide Area Network), que usa interconexiones de Nivel-1. Un solo Nivel-2, puede consistir de muchos nodos conectados en una topología de red. Un Nivel-1 puede conectarse con varios nodos en el Nivel-2, a través de múltiples pares de fibras.

El ancho de banda de las fibras es dividido internamente en tres juegos: local, metro y global. Cualquier longitud de onda puede se usada por servicios A o B (el servicio C suministra una banda sobre 1,3 μm). Las longitudes de onda locales son usados para niveles internos Nivel-0, frecuencias de filtro selectivos mantienen las longitudes de onda con un Nivel-0. Las longitudes de onda metro, son usadas por internos Niveles-0, conexiones por OTs que usan el mismo Nivel-1. Los filtros evitan las metro longitudes de onda para pasivos Niveles-2. Las longitudes de onda local y metro pueden ser reutilizadas por cada Nivel-0 y Nivel-1, respectivamente. Las longitudes de onda global son usadas para accesos y para el Nivel-2. Debido a que el Nivel-2 puede tener cambios en las longitudes de

onda, las longitudes de onda local y metro pueden ser usadas dentro del Nivel-2, sin embargo estas longitudes de onda no pueden pasar entre el Nivel-2 y Nivel-1.

Cada subred provee servicios A, B o C para las bajas subredes. Cada subred es responsable por este recurso, por ejemplo: ancho de banda, switches, ruteo de longitudes de onda, cambios de longitudes de onda, etc. En orden de procesos requeridos para servicios y administración de estos recursos, cada subred contiene un controlador. El controlador es único para permitir así operaciones autónomas si existieran fallas de un nivel alto ocurrido en la subred. Por consiguiente los servicios de un alto nivel de control no es usado a menos que sea necesario. [19]

3.6 Cálculo de factores de WDM

Para la reservación de backup en la línea de fibra óptica utilizamos la siguiente fórmula:

$$S_{i,j} = \max(0, P_{i,j} - 1) \quad (3.1)$$

Donde $S_{i,j}$ denota la línea primaria repartida de la líneas (i,j) y $P_{i,j}$ denota el número total de caminos que utilizan las líneas (i,j) . $S_{i,j}$ puede verse como el soporte para unir líneas faltantes entre (i,j) , es decir, estas líneas son usadas por más de un camino primario.

3.6.1. Notación:

1. Damos una topología física $G_p=(V,E)$ (3.2), componiéndose de un pesado gráfico unidireccional, donde V son los nodos fijos de la red y E son las líneas físicas (bordes). Los nodos corresponden a los nodos de la red y las líneas corresponden a los nodos en medio de las fibras.

Tabla 3.2. Parámetros de WDM en la transmisión [20]

WDM	Longitudes de onda (nm)	Pasabanda (nm)	Perdida de inserción típica (dB)	Insolación (dB)	Directividad (dB)	Estabilidad Térmica (dB)	Temp de operación (°C)	Puerto de Configuración	Tipo de Fibra	Empaque
WDM con Filtros estandar	1310/1550 1310/1625	(+/-) 10	<0.5	>16 or >35	> 60	< 0.2	(-)40 to (+)85	1 X 2	Corning SMF-28	Tubo de alumino
WDM con amplificador EDFA	980/1550 1064/1480 980/1480	(+/-) 10 (+/-) 5	< 0.5	>16	> 60	< 0.2	(-)40 to (+)85	1 X 2	Corning SMF-28 Flexcore (PureMode)	Tubo de alumino
WDM con amplificador Raman	1064/1310	(+/-) 10	< 0.5	>16	> 60	< 0.2	(-)40 to (+)85	1 X 2	Corning Flexcore (PureMode)	Tubo de alumino

2. El número de nodos en la red es N , las longitudes de onda llevadas a través de las fibras es W , la capacidad de cada longitud de onda es C (se asume que cada longitud de onda posee la misma capacidad). Donde se usa $C=OC-48$ (3.3).
3. Matriz de tráfico $D_{N \times N} = \{d_m\}$ (3.4), donde d_m indica la capacidad de requerimiento tráfico a baja velocidad en unidades de OC-1. Donde se considera $d_m = \{OC-1, OC-3, OC-12\}$ (3.5).
4. La capacidad de peso de la línea (i,j) denotada por $c_{i,j}$ escoge si el número es positivo y real y puede ser utilizado como una capacidad media de consumo por longitud de onda sobre la línea. Este peso es utilizado para diferenciar la capacidad en las líneas viendo el costo del punto, por ejemplo para larga distancia.

Las siguientes notaciones, permiten describir varias entidades:

- $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$ número asignado para escoger el nodo de la red.
- $m, n = 1, 2, 3, \dots, N \times (N-1)$ número asignado para escoger la demanda (s-d par). Se asigna a s_m y t_m ser el nodo fuente y el nodo de destino de demanda m respectivamente.
- $w = 1, 2, 3, \dots, W$ número asignado para escoger el ancho de banda
- $K = 2$ número de rutas alternativas en medio de cada s-d par.
- $p, r = 1, 2, 3, \dots, KW$ número asignado a una camino para cada s-d par. Cada camino tiene una longitud de onda asociada (camino de luz). Cada ruta entre cada par s-d tiene su camino continuo y su longitud

de onda W . El primero si $1 \leq p, r \leq W$ caminos que pertenezcan a la ruta 1 y $W+1 \leq p, r \leq 2W$ caminos que pertenezcan a la ruta 2.

La información siguiente se da con respecto al uso de la línea y cuando dos caminos de la línea y nodos desencajan:

- $l_{(m,p),(n,r)}$ toma un valor de uno si los caminos (m,p) y (n,r) tienen por lo menos una línea en común y cero en caso contrario. Si dos rutas de caminos coinciden en una misma línea, esto cuando todos los caminos de luz son usados, entonces la ruta tiene un correspondiente valor de l seteado en uno, caso contrario cero. (dato)

Las anotaciones siguientes son relacionadas a la información del camino:

- $d^{m,p}$ camino indicador que toma el valor de uno si (m,p) son escogidos como camino primario, cero caso contrario (variable binaria).
- $n^{m,r}$ camino indicador que toma el valor de uno si (m,r) son escogidos como una restauración de camino, cero caso contrario (variable binaria).
- $e_{ij}^{m,p}$ indicador de línea que toma el valor de uno si la línea (i,j) son usados en el camino (m,p) , cero si es diferente (dato).
- $y_w^{m,p}$ indicador de longitud de onda que toma valor de uno si la longitud de onda w es usada para el camino (m,p) , cero en otro caso.

Las siguientes variables se usan para presentar la asignación de longitudes de onda en el arreglo de red:

- $P_{ij,w}^m$ variable binaria, uno si la longitud de onda w esta en la línea (i,j) y éste es usado como camino primario de demanda m , cero en otro caso.
- $r_{ij,w}^m$ variable binaria, uno si la longitud de onda w esta en la línea (i,j) y éste es usado como camino de respaldo de demanda m , cero en otro caso.
- W_{ij} entero no negativo, número total de longitudes de onda requerido dentro de la línea (i,j) .
- $M_{ij,w}$ entero no negativo, asignación de capacidad total para caminos primarios sobre la longitud de onda w en la línea (i,j) .
- $R_{ij,w}$ entero no negativo, capacidad total reservada para respaldar caminos sobre longitudes de onda w en caminos (i,j) .

3.6.2. Formulación:

La formulación nos permite minimizar el total de líneas con sus respectivas longitudes de onda. Las topologías de la red y las conexiones punto a punto demandan y hacen que las líneas primarias desencajen a rutas secundarias, es por esto que es necesaria una correcta asignación de rutas primarias y secundarias, así se logra determinar una óptima vía con un total de líneas de longitudes de onda mínimas.

Para cada línea c_{ij} (un entero positivo), es la capacidad de peso por línea (i,j) . Se considera como una medida de capacidad el consumo de longitud de onda sobre cada línea, para poder ser usada con este criterio es necesario diferenciar las líneas por capacidad su coste. Se elige un $c_{ij}=1$ con el objetivo de minimizar el número de líneas y sus longitudes de onda.

$$\min \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} \times W_{ij} \quad (3.6)$$

3.6.3. Factores:

a) Entre las variables de la ruta física tenemos que, un camino de luz puede llevar tráfico únicamente por pares s-d si es una ruta física en demanda.

$$\begin{aligned} P_{ij,w}^m &= \sum_{p=1}^{KW} d^{m,p} \in_{ij}^{m,p} y_w^{m,p} \\ r_{ij,w}^m &= \sum_{r=1}^{KW} g^{m,r} \in_{ij}^{m,r} y_w^{m,r} \end{aligned} \quad (3.7,3.8)$$

b) Sobre los indicadores de camino tenemos que, uno y solo un camino puede ser asignado como primario (respaldado) por demanda.

$$\begin{aligned} \sum_{p=1}^{KW} d^{m,p} &= 1 \\ \sum_{r=1}^{KW} g^{m,r} &= 1 \end{aligned} \quad (3.9,3.10)$$

c) Sobre las diversas topologías para la elección de caminos primarios y de respaldo, los caminos primarios y de restauración se deben asignar con respecto a una demanda pudiendo ser debida a los nodos o líneas de desenganche.

$$\sum_{p=1}^W d^{m,p} = \sum_{r=W+1}^{KW} g^{m,r} \quad (3.11,3.12)$$

$$\sum_{p=W+1}^{KW} d^{m,p} = \sum_{r=1}^W g^{m,r}$$

d) Sobre las capacidades variables de longitudes de onda, primero se asigna las capacidades primarias. Para cada longitud de onda se considera capacidades primarias y de respaldo, las cuales sumadas no deben de exceder la longitud de onda total.

$$M_{ij,w} = \sum_m d_m \times P_{ij,w}^m \quad (3.13,1.14)$$

$$M_{ij,w} + R_{ij,w} \leq C$$

e) Sobre los factores de capacidad de la fibra, el número de longitudes de onda usado en una fibra, no debe exceder el número total de longitudes de onda llevado por la fibra. En las siguientes ecuaciones $u_{ij,w} = 1$ si se cumple que $x_{ij,w} \geq 1$, caso contrario es cero. $x_{ij,w}$ nos permite contabilizar el número de caminos primarios y de respaldo que usa la longitud de onda w sobre la línea (i,j) , y W_{ij} cuenta el número de longitudes de onda usadas sobre la línea (i,j) .

$$x_{ij,w} = \sum_m (r_{ij,w}^m + P_{ij,w}^m)$$

$$u_{ij,w}^m \leq x_{ij,w}$$

$$KN(N-1)u_{ij,w} \geq x_{ij,w} \quad (3.15,3.16,3.17,3.18,3.19,3.20)$$

$$u_{ij,w} \in \{0,1\}$$

$$W_{ij} \geq \sum_w u_{ij,w}$$

$$W_{ij} \leq W$$

f) En los factores del multiplexor auxiliar, la capacidad reservada para los caminos auxiliares sobre una línea son necesarias para realizar la correlación entre los correspondientes caminos primarios de la red. Si el camino primario no

tiene líneas comunes, los caminos de respaldo pueden compartir la misma longitud de onda en sus líneas comunes, la capacidad reservada puede ser la mayor capacidad entre ellos. Por otra parte, la capacidad de las líneas de respaldo también es agregada. El factor $R_{ij,w}$ denota la capacidad asignada para respaldar los caminos sobre la longitud de onda w en la línea (i,j) . $R_{ij,w}$ viene dada por la siguiente formula:

$$\begin{aligned}
R_{ij,w} &\geq d_m \times g^{m,p} \in_{ij}^{m,p} y_w^{m,p} \\
&+ \sum_{n \geq m} d_n \times g^{n,p,m,p} \in_{ij}^{n,p} y_w^{n,p} \times I_{(m,\bar{p}),(n,\bar{p})} \\
&+ \sum_{n \geq m} d_n \times g^{n,\bar{p},m,\bar{p}} \in_{ij}^{n,\bar{p}} y_w^{n,\bar{p}} \times I_{(m,p),(n,\bar{p})} \\
&+ \sum_{n \geq m} d_n \times g^{n,p,m,\bar{p}} \in_{ij}^{n,p} y_w^{n,p} \times I_{(m,\bar{p}),(n,p)} \\
&+ \sum_{n \geq m} d_n \times g^{n,\bar{p},m,\bar{p}} \in_{ij}^{n,\bar{p}} y_w^{n,\bar{p}} \times I_{(m,p),(n,p)}
\end{aligned} \tag{3.21}$$

donde $g^{n,p,m,p}$ es una variable binaria que toma valores de uno cuando $g^{n,p} = 1$ y $g^{m,p} = 1$, esto da como ecuación: [21-26]

$$\begin{aligned}
g^{n,p,m,p} &\geq g^{n,p} + g^{m,p} - 1 \\
g^{n,p,m,p} &\leq g^{n,p} \\
g^{n,p,m,p} &\leq g^{m,p}
\end{aligned} \tag{3.22,3.23,3.24}$$

Referencia Bibliográfica

- [1] <http://www2.rad.com/networks/1999/wdm/wdm.htm>
- [2] <http://www.spie.org/web/oer/november/nov00/wdm.html>
- [3] <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=1>
- [4] <http://www.furukawa.co.jp/kenkai/eng/le-tech/dwdm.htm>
- [5] <http://es.wikipedia.org/wiki/DWDM>
- [6] <http://vanity.6.en.xanax-order.be/historia%20salem>
- [7] <http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/solutions/optical/docs/whatiswdm.html>
- [8] <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit158/60-62.pdf>
- [9] SDH.- Synchronous Digital Hierarchy, <http://es.wikipedia.org/wiki/SDH>
- [10] SONET.- Synchronous Optical Network, <http://es.wikipedia.org/wiki/SONET>
- [11] OADM. - Optical Add and Drop Module
- [12] ESCON. - Enterprise System CONnection
- [13] OXC.- optical crossconnect
- [14] <http://www.aciem.org/bancoconocimiento/R/Redesopticatransparentesbasadasentecnologia/Redesopticatransparentesbasadasentecnologia.asp?IdArticulo=1659&CodMagazin=9&CodSeccion=57>
- [15] IP.- Internet Protocol

[16] ATM.- Asynchronous Transfer Mode, modo de transferencia asíncrona

[17] http://www.univalle.edu.co/~telecomunicaciones/trabajos_de_grado/informes/tg_DianaCada vid_LauraRodriguez.pdf

[18] <http://www2.rad.com/networks/1999/wdm/wdm.htm>

[19] <http://www.ll.mit.edu/aon/aonWDM.html>

[20] <http://www.fiberwdm.ca/wdm.html>

[21] <http://www.public.iastate.edu/~jinger23/Research/Jing-2003-Globecom.pdf>

[22] <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=1>

[23] <http://www2.rad.com/networks/1999/wdm/wdm.htm>

[24] <http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/solutions/optical/docs/whatiswdm.html>

[25] <http://www.furukawa.co.jp/kenkai/eng/le-tech/dwdm.htm>

[26] http://www.networkphotonics.com/networks/Optical_Networks.asp

CAPITULO 4

4. ELABORACIÓN DE UN SIMULADOR DE WDM

4.1 Sistemas WDM punto a punto

A finales de 1.995, la tecnología WDM es comercialmente disponible como una solución rápida frente al agotamiento de la capacidad de transmisión en redes de fibra a grandes distancias. En la práctica, fueron básicamente tres alternativas las consideradas para incrementar la capacidad de las redes:

- a) Adicionar más fibra
- b) Incrementar la tasa de transmisión en baudios.
- c) Implementar sistemas WDM en combinación con la tecnología TDM

La reducción de los costos al instalar sistemas WDM (comparado con los costos de las otras soluciones), la repentina necesidad de crear una tecnología más abierta para el incremento de capacidades y la actuación prometedora en mejoras, hizo que WDM sea la tecnología más adecuada para operar a largas distancias en Norte América.

Sin embargo, estos avances tempranos estaban desarrollándose en formatos, mediante la creación de enlaces punto a punto donde existe la independencia del flujo de los datos que usan TDM, cada uno sobre una única longitud de onda, donde son multiplexados y enviados sobre una fibra y luego son demultiplexados (separados) al momento de la recepción, esto se puede observar en la figura 4.1. [1]

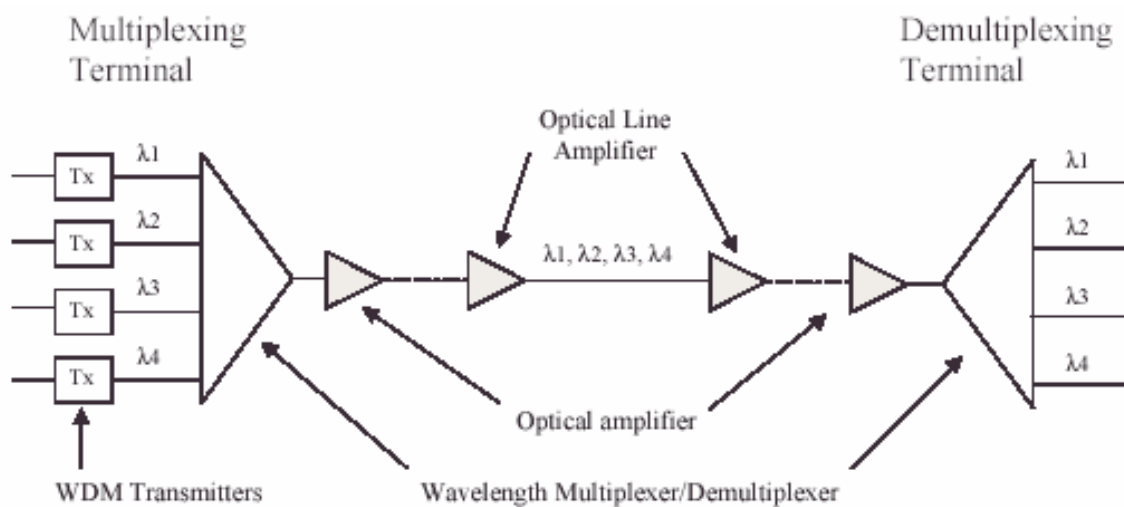


Figura 4.1. Enlace WDM punto a punto

4.2 Construcción de Simulador

Para la construcción del código fuente del simulador, se realizó una agrupación de las diversas funciones definiéndose los siguientes grupos:

- Probabilidad de Bloqueo a través de la transmisión de datos con tráfico
- Probabilidad de Bloqueo a través de la transmisión de datos sin tráfico
- Cálculo del vector de bloqueo de red utilizando WDM

Una descripción básica de los programas utilizados para el simulador se muestra en la tabla 4.1. Para conocer la codificación de cada uno de los programas se lo puede mirar a partir del anexo 8 hasta el 17.

Tabla 4.1. Descripción básica de programas utilizados para el simulador WDM.

Programas Principales	
Nombre	Descripción
blocking_sim_script	bloque de simulación con una función de enlaces
blocking_anl_script	bloque de cómputo con una función de enlaces
rla_script	crea estructura, bloque de cómputo en una red especificada
Programas Secundarios	
Nombre	Descripción
compute_blocking_birman	bloque de cálculo con el modelo de Birman
compute_blocking_kovacicvic	bloque de cálculo con el modelo de Kovacicvic
erlang_b	Fórmula de Erlang-B
p_l	bloqueo sobre un camino WDM
p_m	encuentra m canales libres sobre un camino WDM
link_sim_conv	bloque de simulación en WDM sin conversión
link_sim_no_conv	bloque de simulación en WDM con conversión

4.2.1 Probabilidad de Bloqueo a través de la transmisión de datos sin tráfico

Dentro de las funciones contenidas en esta sección de programas, la principal es ejecutada para el funcionamiento blocking_sim_script. De esta función se despliegan las demás. A continuación se enlista las funciones que se utilizan:

- **blocking_sim_script**
- link_sim_conv
- link_sim_no_conv

4.2.2 Probabilidad de Bloqueo a través de la transmisión de datos con tráfico

Las funciones utilizadas para esta sección, permiten dar una simulación para obtener gráficamente las probabilidades de bloqueo para datos con tráfico. Estas son las siguientes:

- **blocking_anl_script**
- p_l
- p_m

4.2.3 Cálculo de la eficiencia de la red utilizando WDM

Las funciones agrupadas en este bloque, permiten crear el vector de bloqueo a través de los dos métodos Birman y Kovacevic y observar gráficamente su eficiencia. Las funciones utilizadas son:

- **rla_script**
- compute_blocking_kovacevic
- compute_blocking_birman
- erlang_b

4.3 Variables, Funciones y Comandos de Matlab utilizadas en la programación.

La necesidad de pasar una cantidad fija de argumentos, a una función en forma de variables, no es una limitación para Matlab. Uno de los puntos débiles de la definición de las cabeceras de las funciones, es que no pueden definirse, tal como lo hacen otros lenguajes de programación, valores por defecto para las variables de entrada.

Cuando se tiene una distancia entre dos iteraciones $x(n)$ y $x(n+1)$ y esta es menor que un número real, arbitrariamente se elige la variable **distance**. [2]

Se utiliza las variables `nargin` y `nargout`, cuando al ejecutar un programa se asigna a la variable **nargin** el número de argumentos de entrada y a la variable **nargout** el número de argumentos de salida, con lo cual se hace el llamado a la función. Esto permite crear programas con diferentes números de argumentos de entrada y de salida. [3,4]

Así como las variables de entrada y salida también Matlab presenta la facilidad de trabajar con funciones como `varargin` y `varargout`, las que permiten: **varargin**, permite que las funciones admitan cualquier combinación de argumentos de entrada y **varargout**, permite que las funciones admitan cualquier combinación de argumentos de salida.

Estas funciones, son una ayuda esencial cuando se escribe funciones polivalentes (poseer varias aplicaciones). Los métodos `nargin` y `nargout` sirven para que las funciones se comporten de un modo distinto según la cantidad de argumentos que reciban, `varargin` y `varargout` evitan escribir largas cabeceras de funciones cuando estas reciben muchos argumentos, es como si recibiera una variable tipo celda de un modo automático. [4]

La función **nargchk**, verifica que el número de argumentos de entrada calculados con nargin es válido, devolviendo en caso contrario un mensaje de error. [5]

La función **isequal(A, B)** devuelve uno si las matrices son idénticas y cero si no lo son.

La función **fliplr(A)**, halla la matriz simétrica de A respecto de un eje vertical.

La función **isinf(A)** chequea si hay valores **Inf** en **A**, devolviendo una matriz de unos y ceros del mismo tamaño que **A**.

La función **isnan(A)**, realiza el chequeo de los valores **NaN** en **A**, devolviendo una matriz de unos y ceros del mismo tamaño que **A**.

La función **sprintf**, convierte los valores numéricos en cadenas de caracteres, de acuerdo con las reglas y formatos de conversión del lenguaje C.

La función **disp(c)** es la encargada de imprimir el texto contenido en la variable **c** o a su vez imprime lo escrito dentro de paréntesis disk ('hola').

La función matemática **fix(x)** redondea hacia el entero más próximo a 0. Otra función es **ceil(x)**, la cual toma el valor del entero más próximo hacia +8. [6]

Otra de las funciones muy utilizada es **isempty**, la cual se encarga de chequear si un vector o matriz está vacío, y al constatarlo se la puede utilizar para enviar un mensaje de error. [7]

Existe una función, que puede ser utilizada con los operadores relacionales. Esta es la función **find(x)**, la cual devuelve como resultado un vector cuyos elementos serán los índices del vector x para los elementos distintos de cero. [8]

La función **factorial(n)** realiza el calculo del factorial de n multiplicando todos los enteros desde 1 hasta n.

La función **clc**, permite borrar la pantalla de Matlab, en forma especifica se borra el contenido del Command Window.

A través de la función **max()**, se puede extraer el máximo elemento de un vector y saber la posición que este ocupa.

La función **cellfun** devuelve un vector con la longitud de cada elemento que contiene el arreglo cell array. [9]

La función **str2num** convierte los string o cadenas en valores numéricos.

La función **cell2mat** permite convertir el contenido de un cell array a una matriz simple o una matriz multidimensional en una matriz simple.

La función **cellstr** permite, $vc=cellstr(cc)$ convertir una matriz de caracteres **cc** en un vector de celdas **vc**, eliminando los blancos adicionales al final de cada cadena. La función **char()** realiza las conversiones opuestas.

La función **struct2cell()** se encarga de convertir una estructura en un *cell array*. [6]

El comando **isnan**, trabaja de manera similar como **exit** dentro de una función, es por esto que responde o sale de la función si una variable surge al calcular una indeterminación. Otro comando que trabaja de igual manera es **isstr**, el cual responde si una variable es una cadena [10]

El comando **strcmp** permite realizar comparaciones entre cadenas de caracteres, devolviendo un 1 si son iguales, 0 en caso contrario. [11]

Los comandos **save** y **load** permiten guardar la programación o el trabajo que se esta realizando en Matlab y luego ser recuperado justo en el punto indicado. Con el primero, guardamos la información requerida y con el segundo ingresamos para revisar los datos que fueron guardados.

El comando **length** nos devuelve el largo del vector, es decir calcula el número de elementos existentes.

Referencias Bibliográficas

- [1] <http://www.ds.eng.monash.edu.au/techrep/reports/2006/MECSE-25-2006.pdf>
- [2] <http://www.cemfi.es/~pijoan/macro3/introduccion-matlab.pdf>
- [3] <http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/Matlab/node25.html>
- [4] http://www.wikilearning.com/temas_avanzados_i-wkccp-19256-16.htm
- [5] http://www.ugr.es/~jnieves/Textos/Manual_Matlab.doc
- [6] <http://mat21.etsii.upm.es/ayudainf/aprendainf/Matlab70/matlab70primero.pdf>
- [7] <http://www.monografias.com/trabajos36/matlab-programacion/matlab-programacion2.shtml>
- [8] http://www.fi.uba.ar/materias/6607/tps/tp0_html/tp0.html
- [9] <http://gva1.dec.usc.es/~antonio/docencia/2005tci/practica/practica7.pdf>
- [10] <http://www.fim.utp.ac.pa/Revista/Matlab/node19.html>
- [11] <http://www.vlir-telecom.espol.edu.ec/vlir-telecom/Descargas/matlab70primero.pdf>

CAPITULO 5

5. ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS PARA EL SIMULADOR DE WDM

5.1 Algoritmos Utilizados

Beneficios de trasladar longitudes de onda en caminos libres para redes completamente ópticas. “Kovacevic, M. Acampora, A.”

En el artículo, se realiza el estudio de trasladar longitudes de onda para redes completamente ópticas, provistas de canales libres a través de circuitos controlados entre los usuarios.

Lo primero que se realiza, es establecer un modelo analítico aproximado para una ruta estática y circuitos de control de red, con una topología arbitraria, ambos con y sin traslación de longitudes de onda.

Con el estudio del funcionamiento de control en el bloqueo de centrales, las redes en malla, redes en anillo, usando los modelos analíticos y los resultados de simulación. Se logró observar que los modelos analíticos, permiten obtener resultados muy buenos en la simulación, en el caso de las centrales controladas y las redes en malla.

En el resultado de éste estudio, también se observó los beneficios de trasladar longitudes de onda en forma moderada sobre centrales controladas y redes en anillo. Por otra parte, se observó que al trasladar longitudes de onda, estas, puede proveer un significativo desempeño sobre las rede en malla. [1]

Cálculo Aproximado de bloqueo de probabilidades para redes completamente ópticas “Alexander Birman”

En este artículo, se realiza el estudio de redes completamente ópticas, utilizando División de longitudes de onda por Multiplexación y enrutamiento de longitudes de onda, en donde, una conexión entre un par de nodos en la red, es asignada a un camino y una longitud de onda sobre dicho camino. Además, sobre los enlaces de dicho camino, no hay otra conexión que pueda proporcionar la asignación de longitud de onda. Usando un generador se puede reducir la carga de aproximación de acuerdo a este diseño, realizando el cálculo de bloqueo de probabilidades para un modelo de red óptica para dos rutas esquematizadas: una ruta fija y menor carga en el enrutamiento. [2]

Cálculo aproximado de probabilidades de bloqueo, en longitudes de onda, enrutadas en redes completamente ópticas con rangos de limitación en conversiones de longitudes de onda. “Tushar Tripathi, Kumar N. Sivarajan”

En este artículo, se propone un método para calcular el promedio de las probabilidades de bloqueo en las redes completamente ópticas, usando rangos de limitación en la conversión de las longitudes de onda. Trabajos previos, tienden a mostrar que esto es un notable progreso en la probabilidad de bloqueo, mientras se usan rangos de conversión limitada en longitudes de onda para este modelo analítico, para un camino o para una red en malla.

Usando una aproximación de un teorema gráfico, se realiza un modelo extendido de Birman, para no realizar la conversión de longitudes de onda y

derivar en una expresión por cálculo en probabilidades de bloqueo de redes, con rangos limitados de conversión de longitudes de onda para rutas fijas.

El propósito del modelo analítico, es una generalización del modelo de Birman y es aplicable a cualquier topología de red. Se considera el caso donde una longitud de onda entrante, puede ser convertida a d longitudes de salida adyacentes sobre cualquier margen de la longitud de onda de entrada, en adición a la misma longitud de entrada, donde d es el grado de conversión. Usando este modelo, se demuestra que el desempeño obtenido con las mejoras para una completa conversión en las longitudes de onda en la no conversión de longitudes de onda puede ser casi lograda por el uso de la conversión limitada de las longitudes de onda, con el grado de conversión, d , siendo solamente 1 o 2, en una red pequeña considerada como ejemplo. Para probabilidades de bloqueo mayores con pequeños porcentajes, el tráfico llevado con grado de conversión limitada $d=2$ fue casi igual al tráfico llevado por conversiones completas en las longitudes de onda. Los resultados obtenidos, muestran que existen mejorías significativas en el desarrollo del bloqueo pudiendo ser obtenidas por suministro de rango limitado de conversión de las longitudes de onda de pequeños grados dentro de las redes. [3]

Cálculo aproximado de probabilidades de bloqueo para grandes pérdidas en las redes con rutas de estado dependientes. “Shun-Ping Chung; Kashper, A.; Ross, K.W.”

Una reducción de carga aproximada, (también referida como una aproximación puntual de Erlang fijo) para estimar probabilidades de bloqueo punto a punto en pérdida de redes, (ejemplo: circuitos de redes controlados) considerando rutas de estado dependientes. En este esquema de aproximación, la inútil capacidad de distribución para cada enlace en la red es aproximada, asumiéndose que esta distribución es independiente desde un enlace a enlace. Estas guías, para un juego de ecuaciones de puntos fijos no lineales, pueden ser resueltas por repetidas substituciones. La exactitud y el cálculo, requieren de procesos de

aproximación para un esquema de ruta particular, es decir, menor carga de rutas son examinadas. Resultados numéricamente para 6 nodos y 36 nodos, son dados en redes asimétricas. Una nueva reducción en aproximación de carga, para redes de tazas múltiples, con rutas de estado dependiente es también presentada. [4]

5.2 Guía de Práctica N° 1: Transmisión de datos con incremento de tráfico

- Objetivo

Determinar el porcentaje de bloqueo que existe en una transmisión de datos utilizando WDM al existir tráfico en el enlace.

- Procedimiento

1. Iniciar con el programa de matlab versión 6.5. Como se indica en la Figura 5.1.



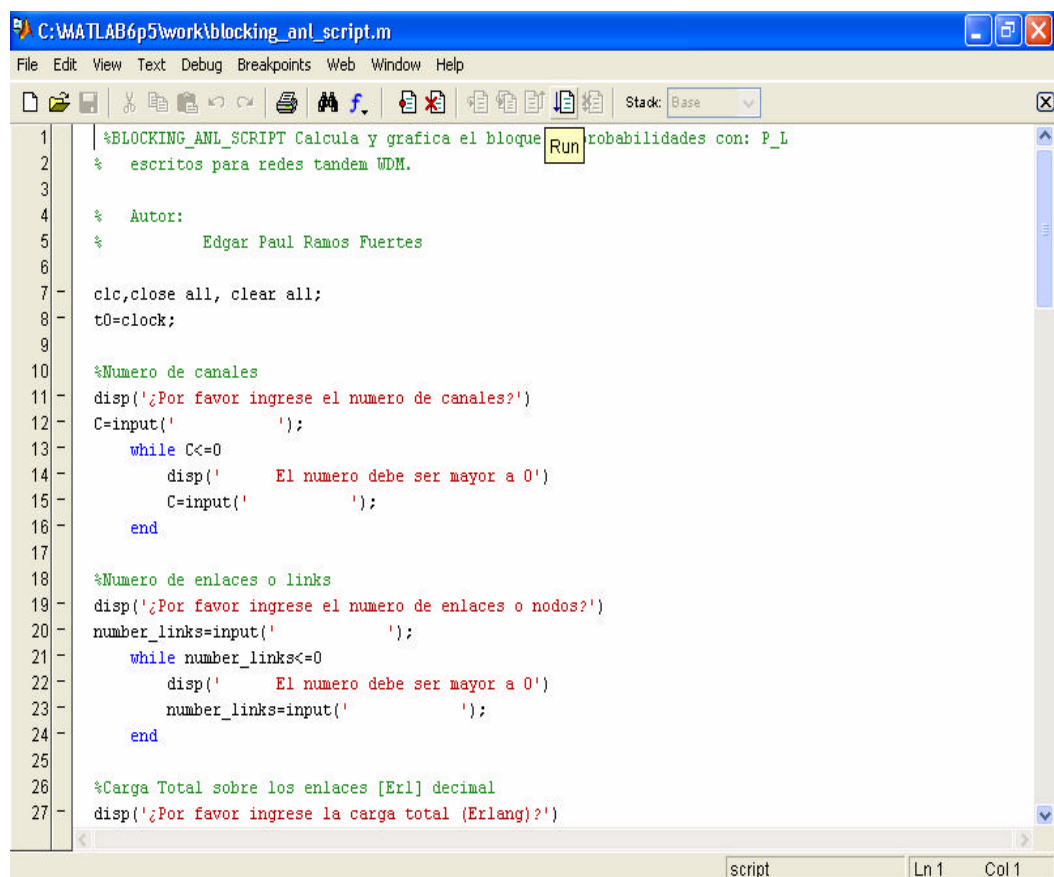
Figura 5.1. Inicio de Programa Matlab

2. Correr el programa `blocking_anl_script`, ubicado en el siguiente camino: `C:\MATLAB6p5\work\blocking_anl_script`. Se lo puede hacer, dando un clic en *Debug*, luego la opción *Run*, o también dando un clic en el teclado en *F5* o directamente con la tecla *Run*



Run

, ubicada en la parte superior central de la ventana del programa. Se puede observar esto en la Figura 5.2.



```
C:\MATLAB6p5\work\blocking_anl_script.m
File Edit View Text Debug Breakpoints Web Window Help
Stack: Base
1 | %BLOCKING_ANL_SCRIPT Calcula y grafica el bloqueo con probabilidades con: P_L
2 | % escritos para redes tandem WDM.
3 |
4 | % Autor:
5 | % Edgar Paul Ramos Fuertes
6 |
7 | clc,close all, clear all;
8 | t0=clock;
9 |
10 | %Numero de canales
11 | disp('¿Por favor ingrese el numero de canales?')
12 | C=input(' ');
13 | while C<=0
14 |     disp(' El numero debe ser mayor a 0')
15 |     C=input(' ');
16 | end
17 |
18 | %Numero de enlaces o links
19 | disp('¿Por favor ingrese el numero de enlaces o nodos?')
20 | number_links=input(' ');
21 | while number_links<=0
22 |     disp(' El numero debe ser mayor a 0')
23 |     number_links=input(' ');
24 | end
25 |
26 | %Carga Total sobre los enlaces [Erl] decimal
27 | disp('¿Por favor ingrese la carga total (Erlang)?')
```

Figura 5.2. Programa primero, calcula la probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico

3. Ingresar el número de canales. Como se muestra en la Figura 5.3.

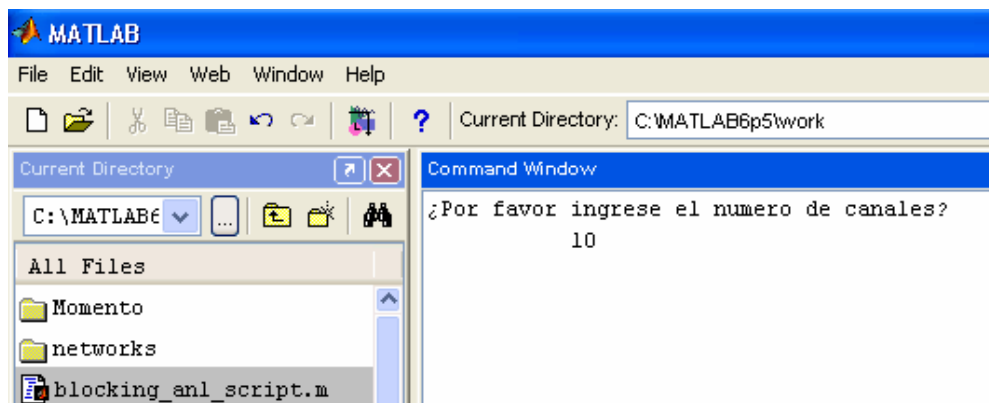


Figura 5.3. Ingreso de número de canales, en programa primero

4. Ingresar el número de nodos o enlaces que tendría la red a ser simulada. Tal como se muestra en la Figura 5.4.

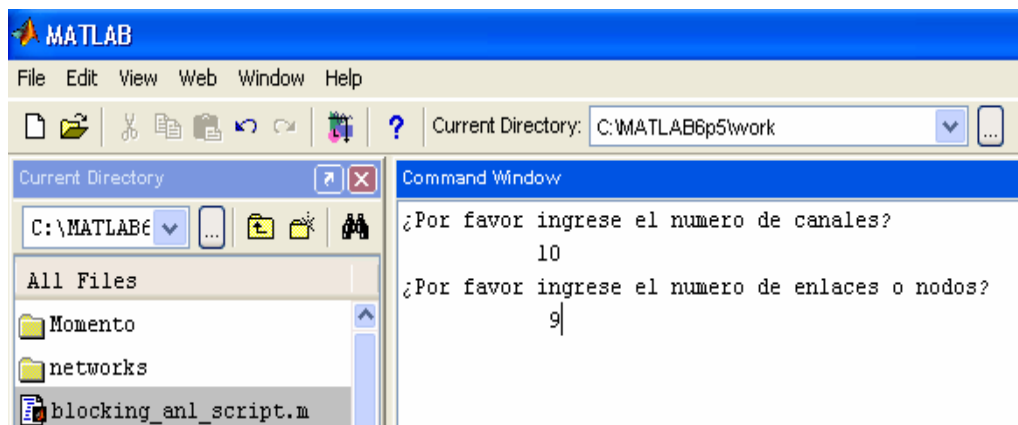


Figura 5.4. Ingreso de número de enlaces, en programa primero

5. Ingresar la carga total en Erlangs. Como se indica en la Figura 5.5.

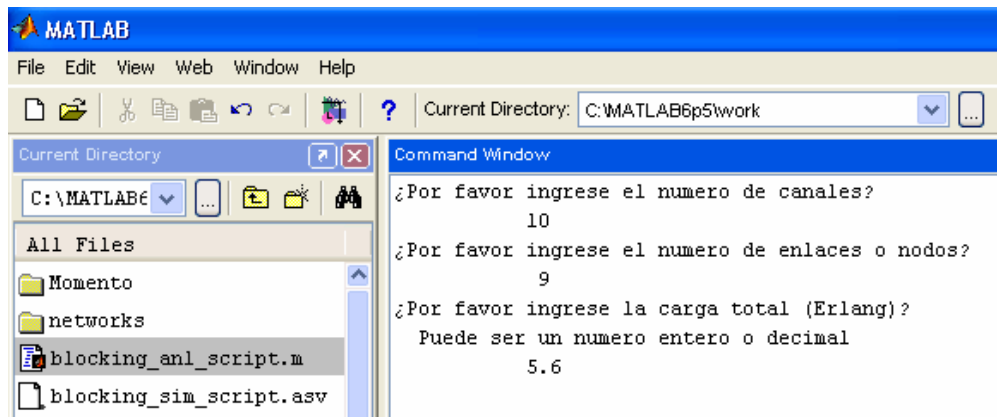


Figura 5.5. Ingreso de Carga total, en programa primero

6. Digitar el método a utilizarse, tenemos los tres métodos con los cuales podemos trabajar: Sin conversión, Conversión completa y conversión limitada. Se escoge la elección como se indica en la Figura 5.6, digitando 1, 2 o 3.

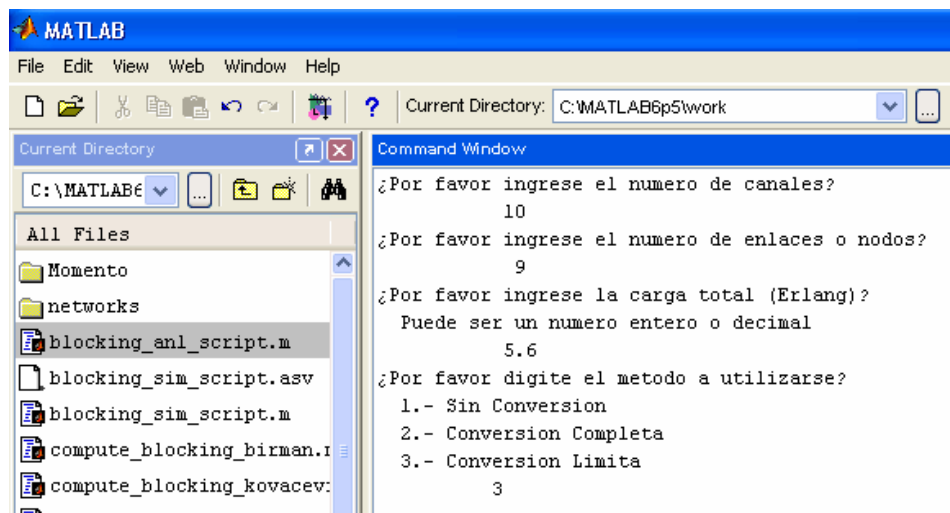


Figura 5.6. Elección de método a utilizarse, en programa primero

7. Si la elección realizada sobre el método a utilizarse, ha sido la última, es decir Conversión limitada, se debe elegir también si es de primer, segundo o tercer orden. Como se muestra en la Figura 5.7.

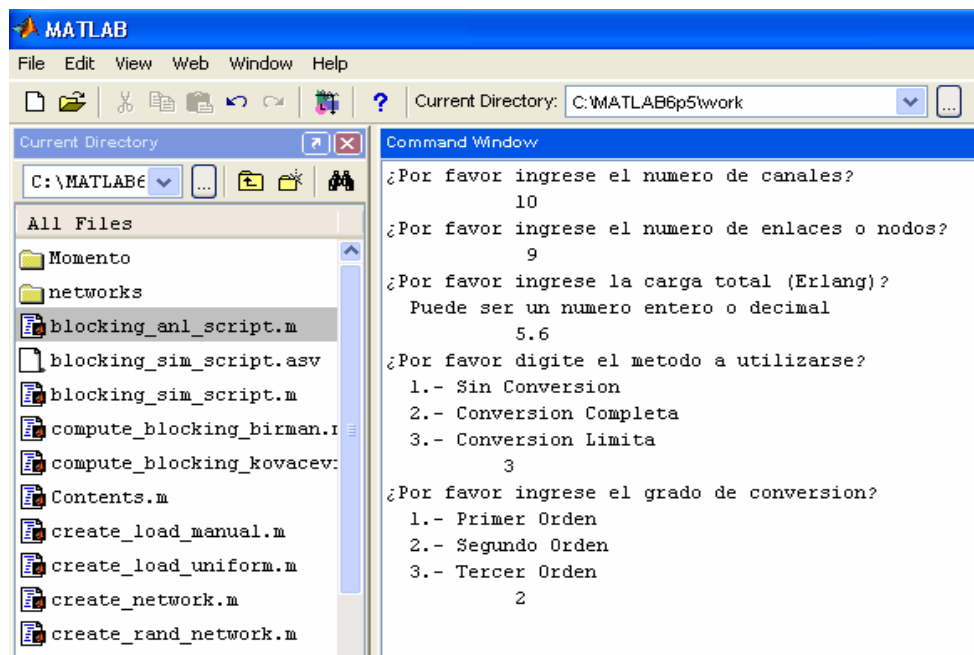


Figura 5.7. Elección de grado de conversión, en programa primero

8. Finalmente se realizará el análisis respectivo en cada una de las gráficas. Además se puede conocer el tiempo que se demoró en ejecutarse el programa. Esto se observa en la Figura 5.8.

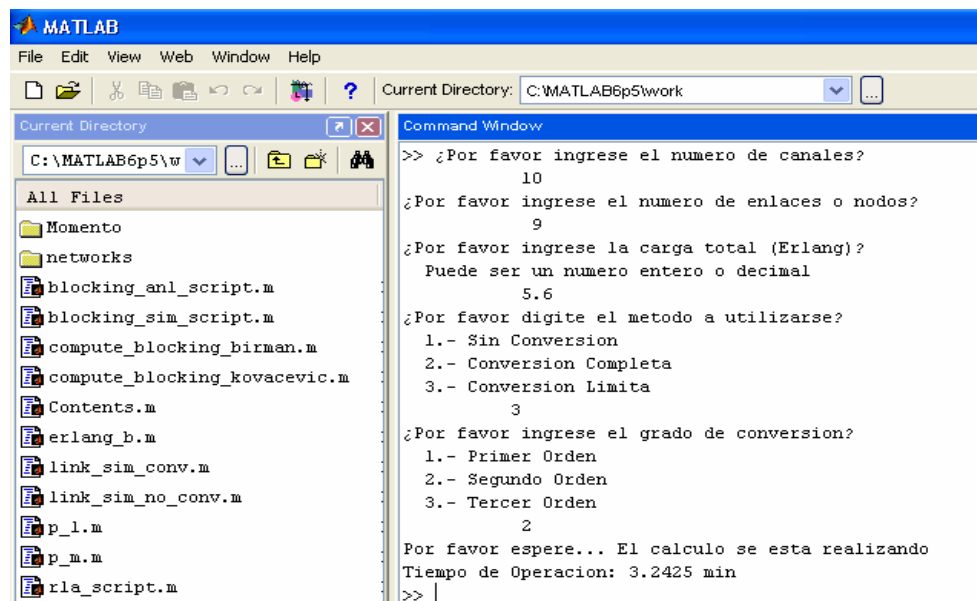


Figura 5.8. Tiempo de operación, en programa primero

- Desarrollo

1. Luego de haber obtenido las gráficas se procede con el análisis.
2. En la gráfica de “Cálculo de probabilidades con bloqueo sobre caminos WDM: “Sin Conversión” (Figure No.1), se puede observar la probabilidad de bloqueo que se presenta en cada nodo y como este bloqueo va en aumento conforme avanzan los enlaces o nodos. Esto se puede observar en la Figura 5.9. Se debe tomar los datos de bloqueo de cada nodo.

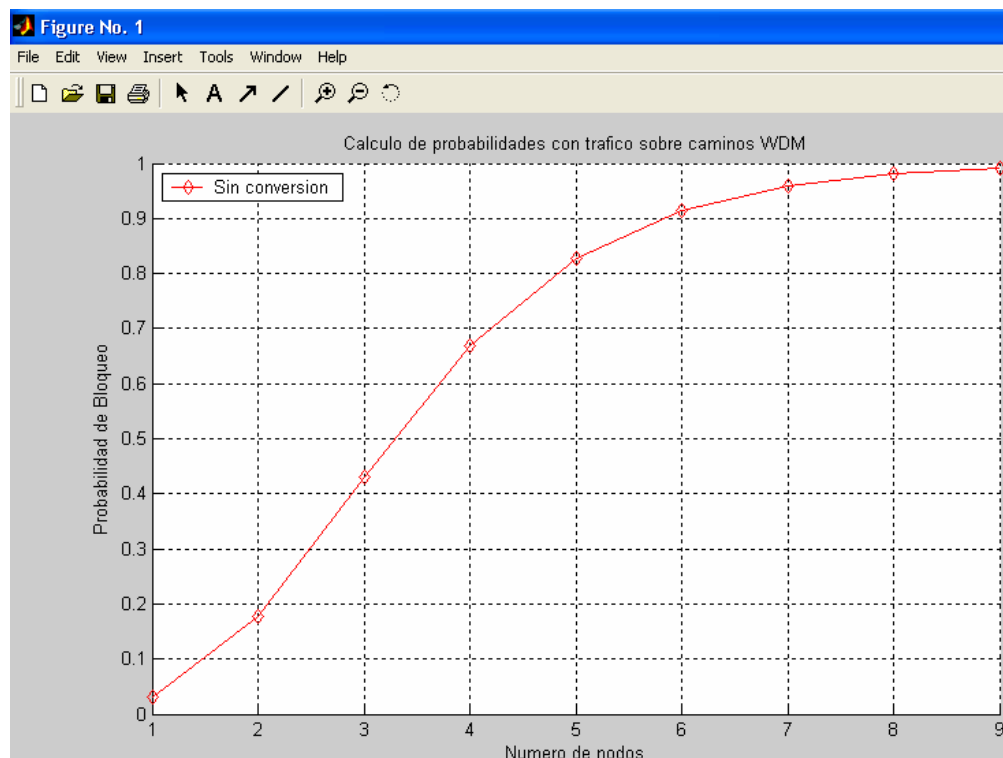


Figura 5.9. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico Sin conversión

3. Se obtiene los datos de forma similar como se indicó en el paso anterior, pero esta vez con la gráfica “Cálculo de probabilidades con bloqueo sobre caminos WDM: “Conversión completa” (Figure No.2). Como se muestra en la Figura 5.10.

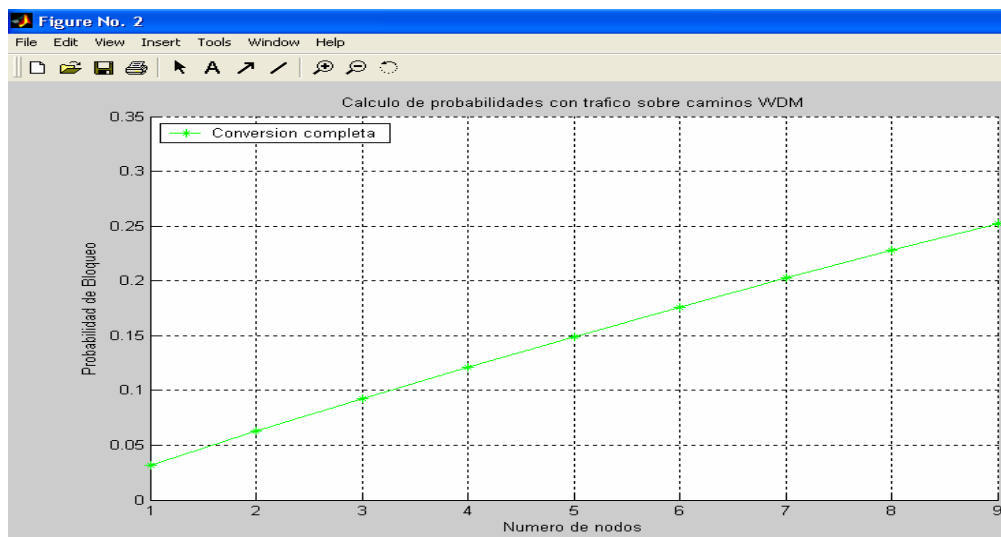


Figura 5.10. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico Conversión Completa

- Se repite el paso 2 para la gráfica "Cálculo de probabilidades con bloqueo sobre caminos WDM: "Conversión Limitada" (Figure No.3)". En la parte superior izquierda de la gráfica se puede observar $D=2$, la letra D es el grado de conversión escogido, en este caso de segundo orden. Mirar Figura 5.11.

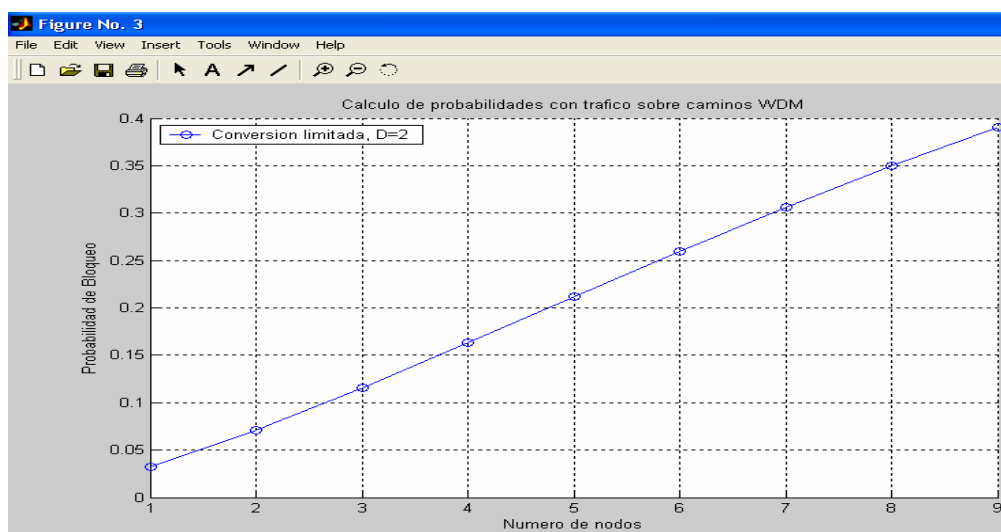


Figura 5.11. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico Conversión Limitada

- Posteriormente se procede a analizar la gráfica “Cálculo de probabilidades con bloqueo sobre caminos WDM” (Figure No.4), donde están las tres gráficas anteriores. En esta se puede observar que el bloqueo con Conversión Completa, tiene menor cantidad de bloqueo que las otras anteriores, como se muestra en la Figura 5.12.

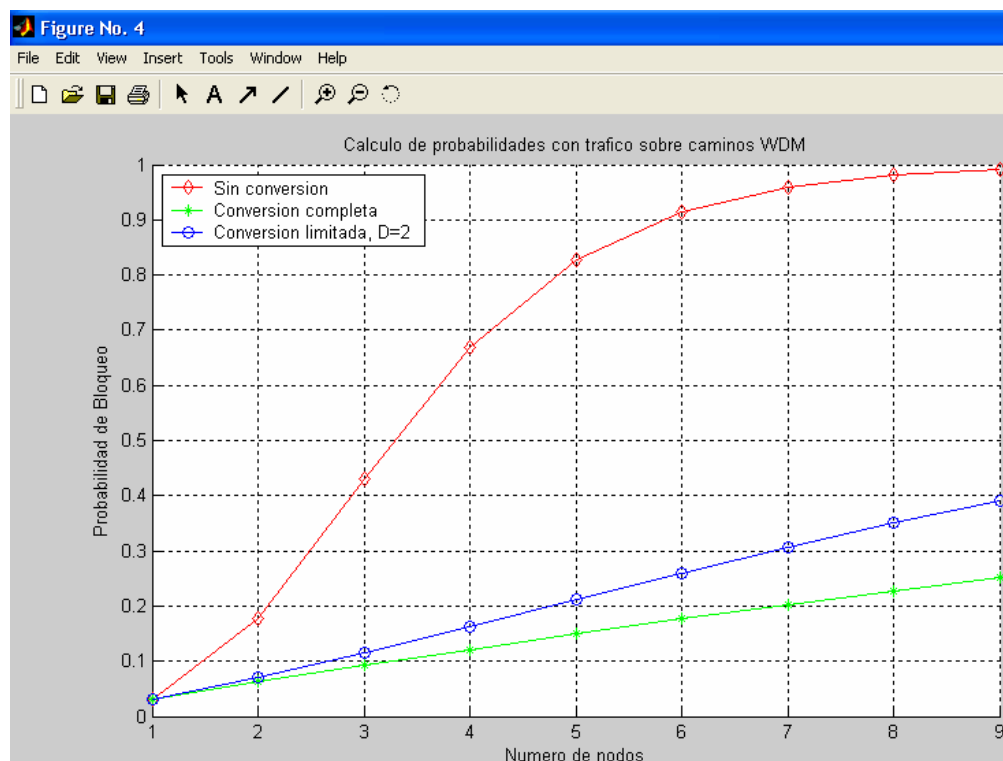


Figura 5.12. Probabilidad de bloqueo con incremento de tráfico para los tres tipos de Conversión.

- **Análisis de Resultados**

- Al realizar la simulación del trabajo con WDM en caminos con tráfico, se puede observar en las gráficas que al realizar una conversión completa, las probabilidades de bloqueo son significativamente menores que las probabilidades de los otros métodos.

2. Si se toman los datos de cada nodo, esto permite observar claramente que en los primeros nodos no se observa mayor diferencia en la probabilidad de bloqueo entre el método de conversión limitada y conversión completa, pero a medida que se incrementan los nodos se puede obtener una gran diferencia.
3. Por los análisis en las gráficas se puede observar que la superioridad en cuanto a trabajar con conversión WDM y sin conversión es absolutamente abismal. Por esto se llega a descartar el uso de envío de datos sin conversión. Como lo observamos en la Figura 5.12.

- Conclusiones

1. Las gráficas, permitieron demostrar que la probabilidad de bloqueo cuando se utiliza Conversión WDM Completa es menor que en el uso de Conversión WDM Limitada y extremadamente inferior que al no poseer conversión.
2. La simulación, permite realizar una aproximación muy buena de lo que sucedería en la realidad al aplicar la tecnología WDM, sobre medios ópticos.
3. Cuando existe tráfico en los canales, al utilizar WDM se aprovecha de mejor manera los recursos para el envío de datos.

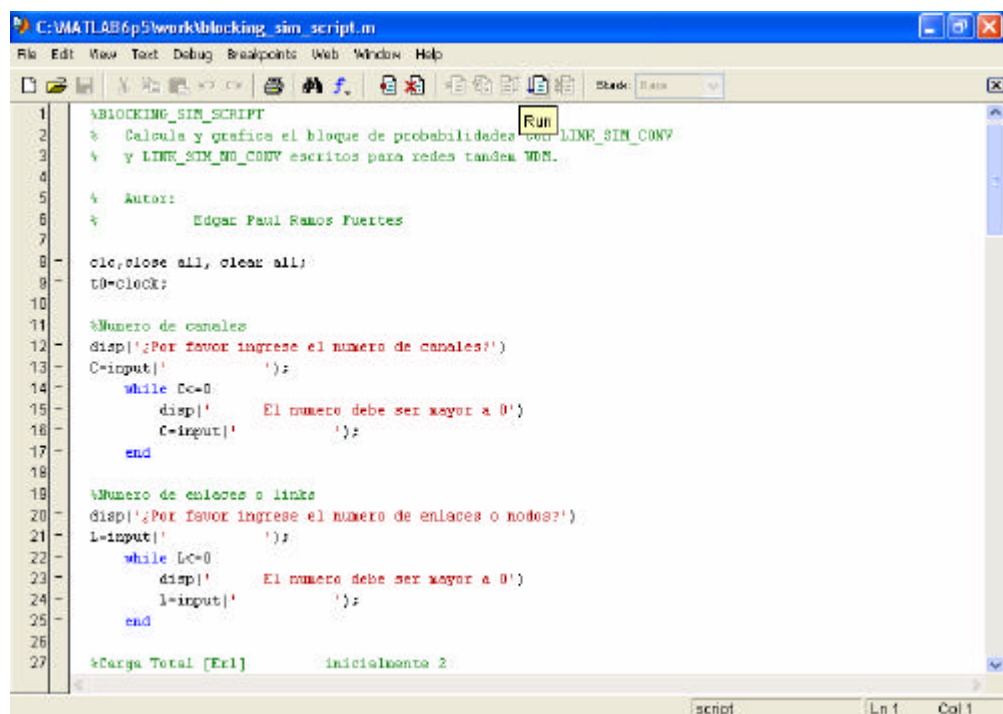
5.3 Guía de Práctica N° 2: Transmisión de datos sin tráfico

- Objetivo

Determinar el porcentaje de bloqueo que existe en una transmisión de datos utilizando WDM a través de canales libres.

- Procedimiento

1. Iniciar con el programa de matlab versión 6.5. Como se mostró en la Figura 5.1.
2. Correr el programa blocking_sim_script, ubicado en el siguiente camino: C:\MATLAB6p5\work\blocking_sim_script. Como se indica en la Figura 5.13.



```
1 %BLOCKING_SIM_SCRIPT
2 % Calcula y grafica el bloque de probabilidades con LINK_SIM_CONV
3 % y LINK_SIM_NO_CONV escritos para redes tandem WDM.
4
5 % Autor:
6 % Edgar Paul Ramos Fuertes
7
8 clear,close all, clear all;
9 t0=clock;
10
11 %Numero de canales
12 disp('Por favor ingrese el numero de canales?')
13 C=input(' ');
14 while C<=0
15     disp(' El numero debe ser mayor a 0')
16     C=input(' ');
17 end
18
19 %Numero de enlaces o links
20 disp('Por favor ingrese el numero de enlaces o nodos?')
21 L=input(' ');
22 while L<=0
23     disp(' El numero debe ser mayor a 0')
24     L=input(' ');
25 end
26
27 %Carga Total [Erl] inicialmente 2.
```

Figura 5.13. Programa segundo, calcula la probabilidad de bloqueo sin tráfico

3. Ingresar el número de canales, como se muestra en la Figura 5.14.

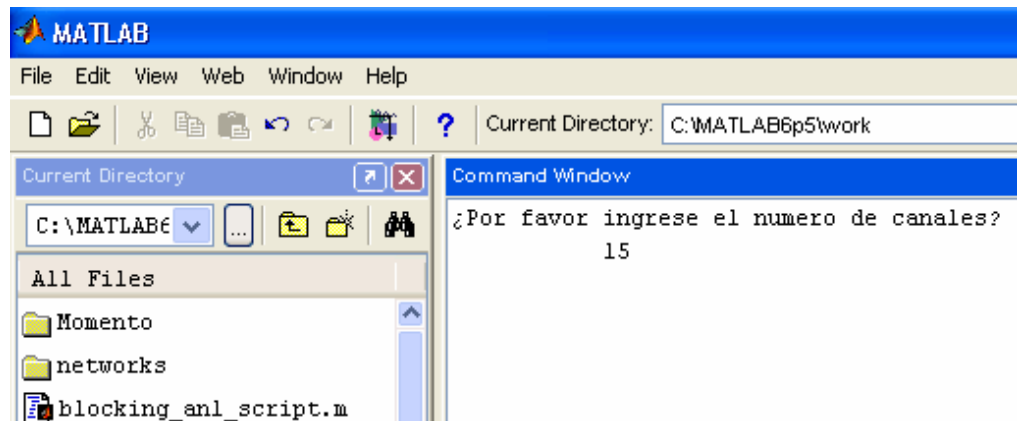


Figura 5.14. Ingreso de número de canales, en programa segundo

4. Ingresar el número de nodos o enlaces que tendría la red a ser simulada, como se indica en la Figura 5.15.

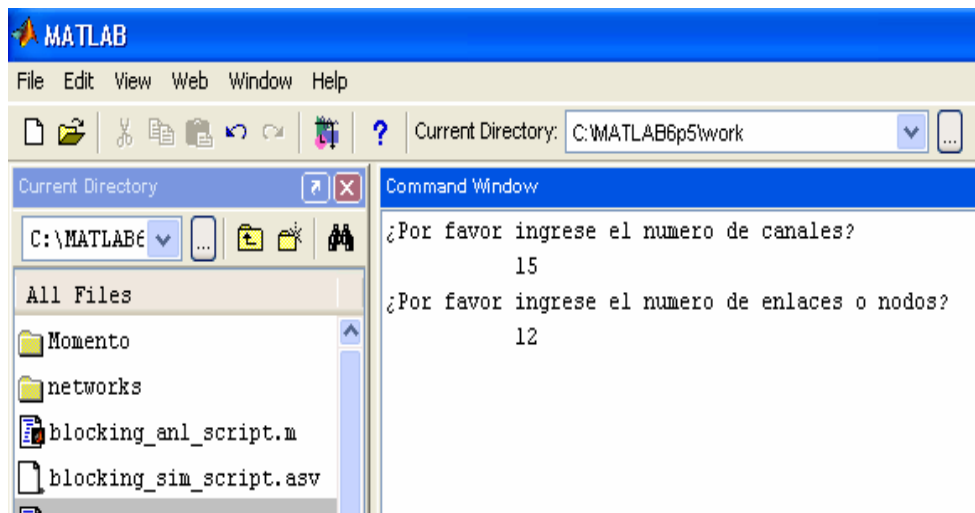


Figura 5.15. Ingreso de número de enlaces, en programa segundo

- Ingresar la carga total en Erlangs. De acuerdo a lo mostrado en la Figura 5.16.

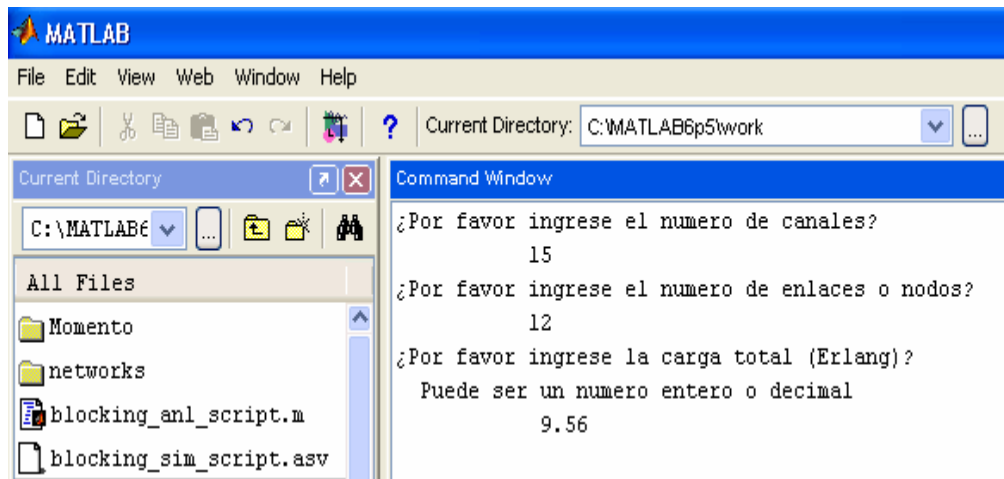


Figura 5.16. Ingreso de carga total, en programa segundo

- Ingresar el número de generaciones que se desea para la simulación de forma similar como se muestra en la Figura 5.17.

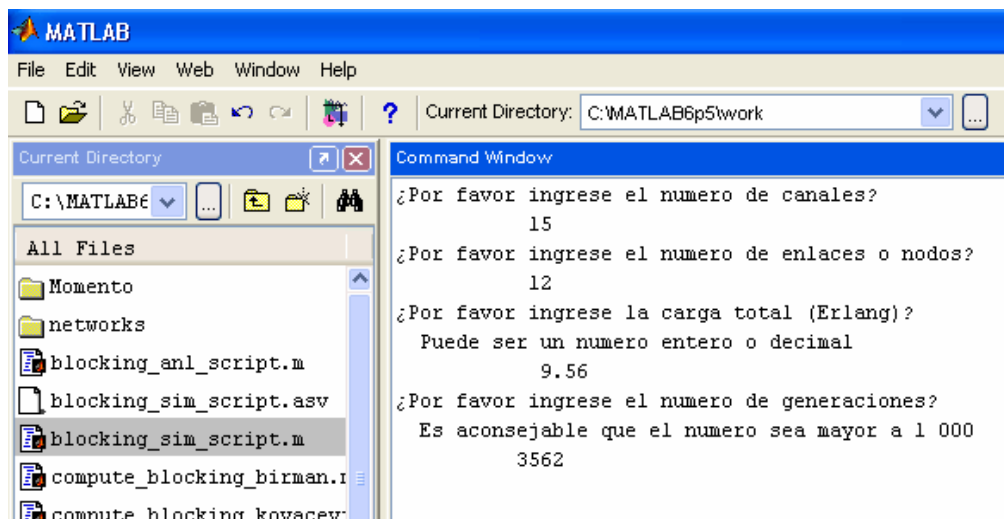


Figura 5.17. Ingreso de número de generaciones, en programa segundo

7. Elegir el canal a ser utilizado para la parte que tendrá conversión WDM. Realizar la elección entre Primer canal, canal de la mitad y canal final como se indica en la Figura 5.18.

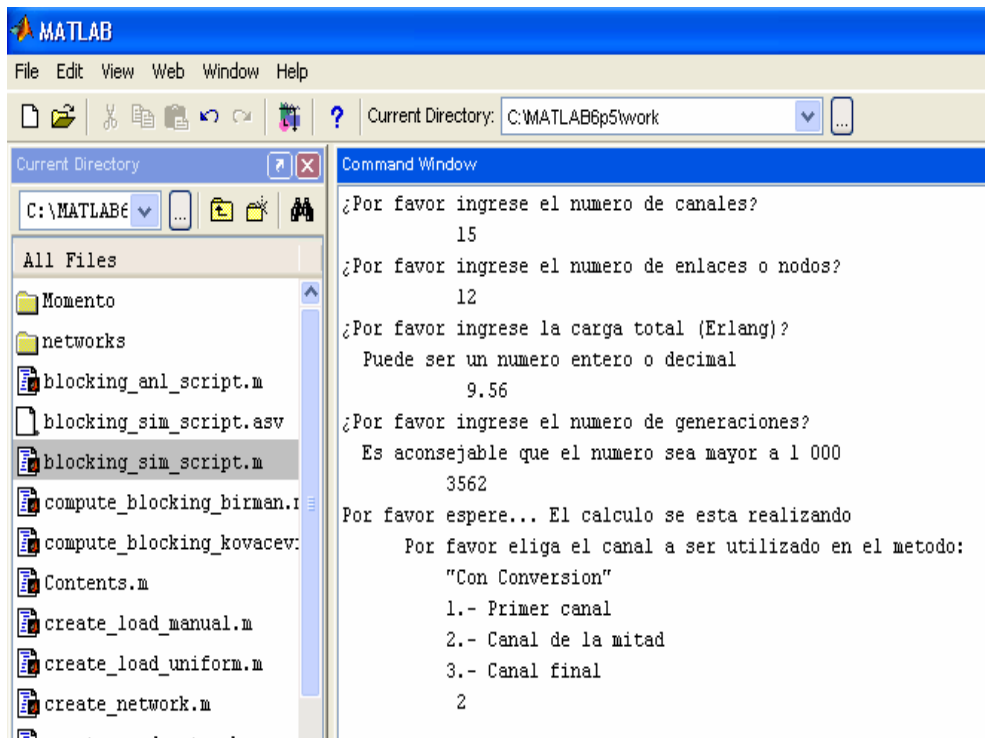


Figura 5.18. Elección de canal a utilizar Con Conversión, en programa segundo

8. Se debe esperar un momento mientras los primeros datos son calculados para la parte en que se realiza conversión WDM como se muestra en la Figura 5.19.

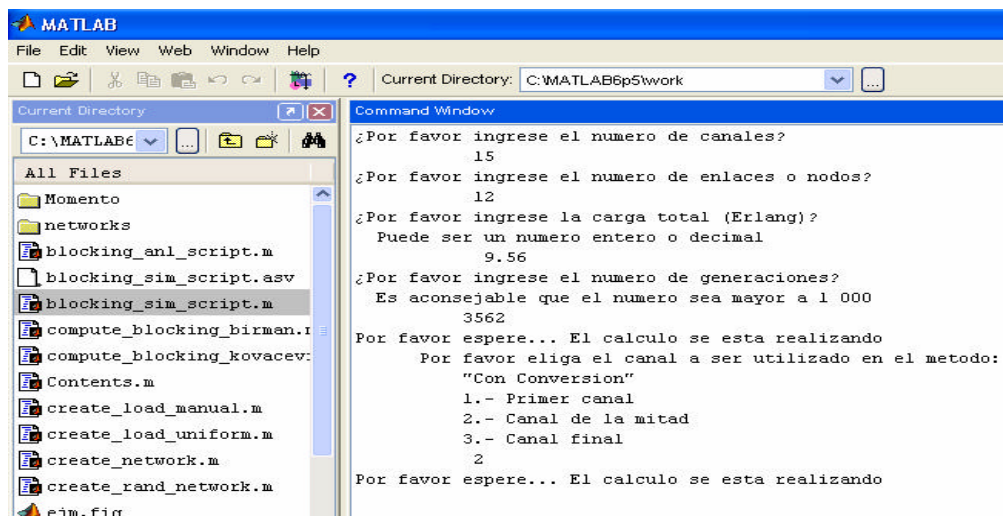


Figura 5.19. Momento de espera por cálculos, en programa segundo

9. Elegir el canal a ser utilizado para la parte que no tendrá conversión WDM y permitirá hacer las comparaciones. Figura 5.20. Es aconsejable escoger el mismo canal del paso anterior.

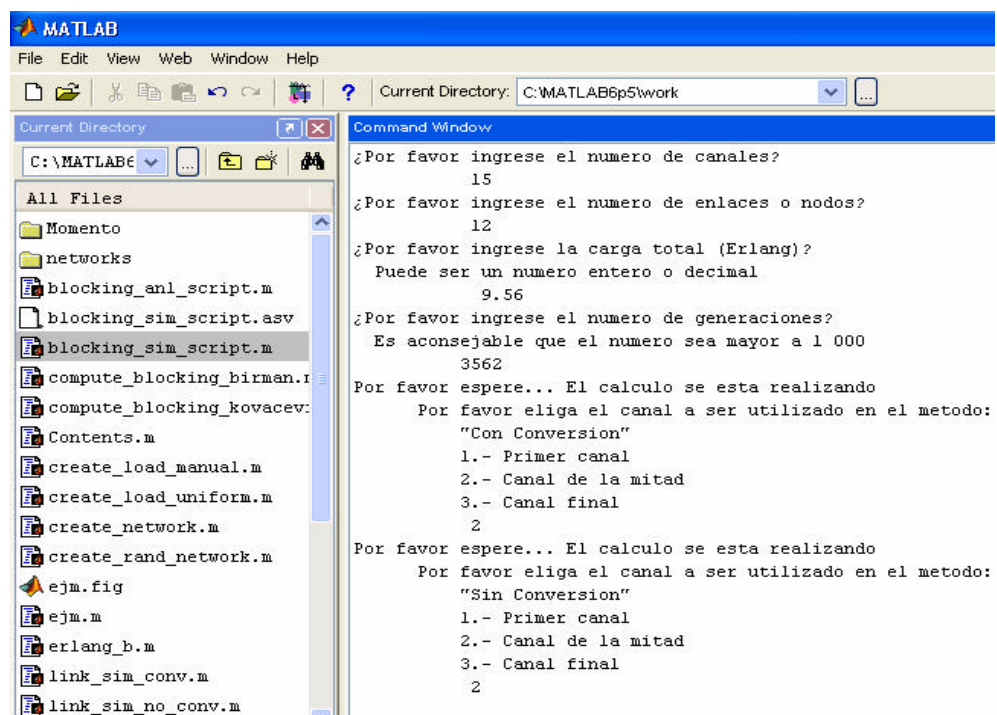


Figura 5.20. Elección de canal a ser utilizado Sin Conversión, en programa segundo

10. Realizar el análisis respectivo en cada una de las gráficas. Además se puede observar el tiempo de ejecución al finalizar el programa como se muestra en la Figura 5.21.

```

MATLAB
File Edit View Web Window Help
Current Directory: C:\MATLAB6p5\work
C:\MATLAB6p5\w
All Files
Momento
networks
blocking_anl_script.m
blocking_sim_script.m
compute_blocking_birman.m
compute_blocking_kovacevic.m
Contents.m
erlang_b.m
link_sim_conv.m
link_sim_no_conv.m
p_l.m
p_m.m
rla_script.m
Command Window
12
¿Por favor ingrese la carga total (Erlang)?
Puede ser un numero entero o decimal
9.56
¿Por favor ingrese el numero de generaciones?
Es aconsejable que el numero sea mayor a 1 000
3562
Por favor espere... El calculo se esta realizando
Por favor eliga el canal a ser utilizado en el metodo:
"Con Conversion"
1.- Primer canal
2.- Canal de la mitad
3.- Canal final
2
Por favor espere... El calculo se esta realizando
Por favor eliga el canal a ser utilizado en el metodo:
"Sin Conversion"
1.- Primer canal
2.- Canal de la mitad
3.- Canal final
2
Por favor espere... El calculo se esta realizando
Por favor espere... El calculo se esta realizando
Tiempo de operacion: 13.9372 min
>>

```

Figura 5.21. Tiempo de operación, en programa segundo

- Desarrollo

1. Luego de haber obtenido las gráficas se realiza el análisis.
2. En la gráfica de “Cálculo de probabilidades sin tráfico sobre caminos WDM: “Con Conversión” (Figure No.1), se puede observar el bloqueo que se presenta en cada nodo y como este bloqueo va en aumento conforme avanzan los enlaces o nodos. Figura 5.22. Tomamos los datos de bloqueo de cada nodo.

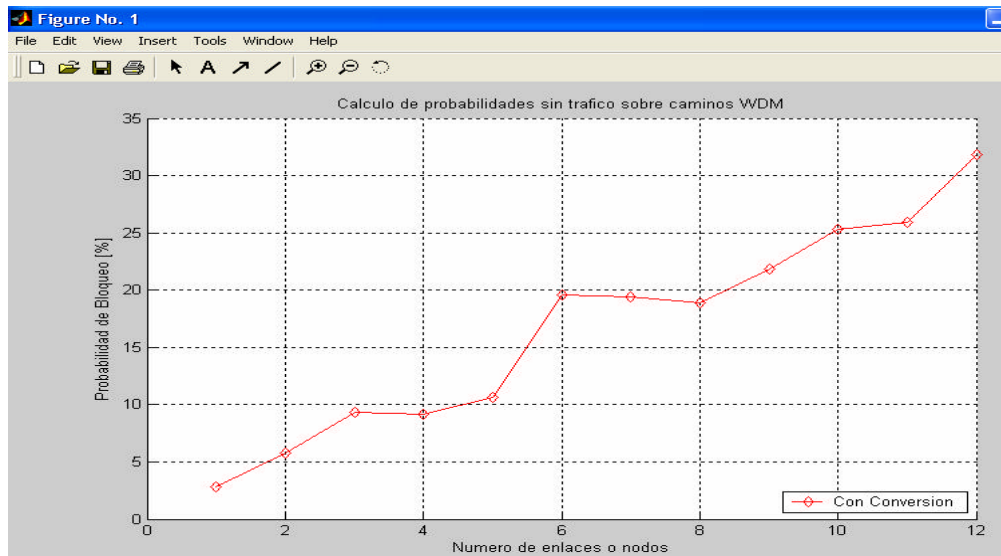


Figura 5.22. Probabilidad de bloqueo sin tráfico con Conversión

3. Se obtiene los datos de forma similar como se indico en el paso anterior, pero esta vez con la gráfica "Cálculo de probabilidades sin bloqueo sobre caminos WDM: "Sin Conversión: Primer Ajuste" (Figure No.2). Ver Figura 5.23.

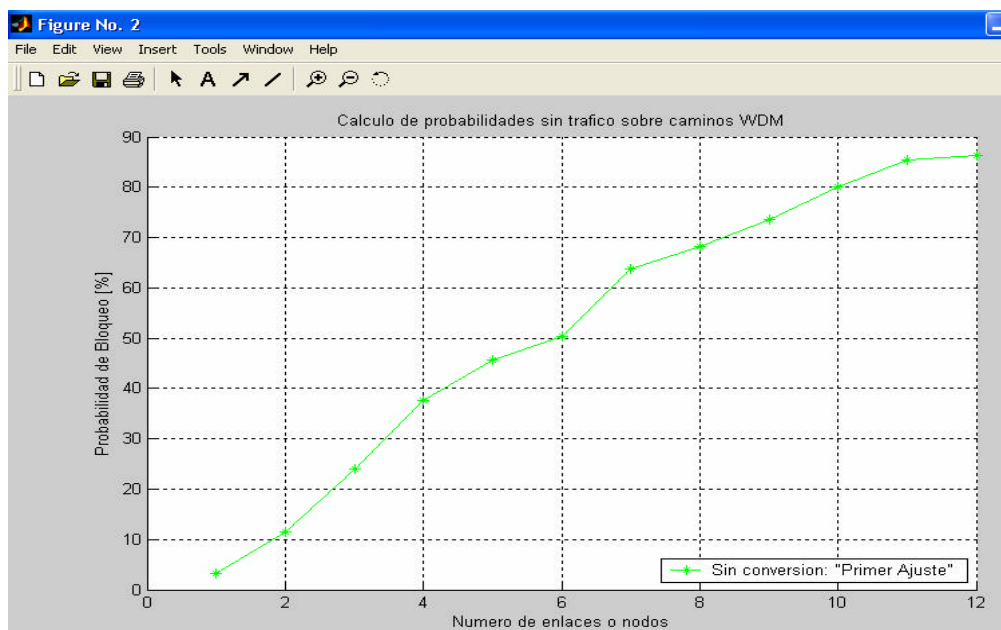


Figura 5.23. Probabilidad de bloqueo sin tráfico Sin Conversión Primer Ajuste

4. Se repite el paso 2 para la gráfica “Cálculo de probabilidades sin bloqueo sobre caminos WDM: “Sin Conversión: Randómico” (Figure No.3)”. Ver Figura 5.24.

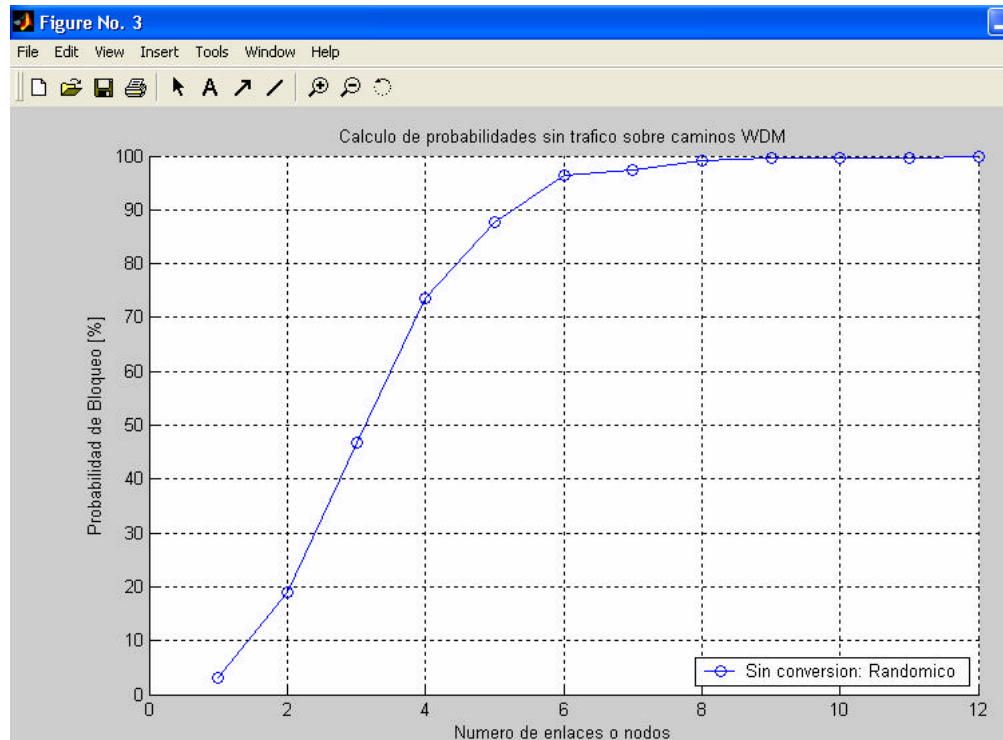


Figura 5.24. Probabilidad de bloqueo sin tráfico Sin Conversión Randómico

5. Posteriormente se procede a analizar la gráfica “Cálculo de probabilidades sin tráfico sobre caminos WDM” (Figure No.4), donde están las tres gráficas anteriores. En esta se puede observar que el bloqueo con conversión tiene menor cantidad de bloqueo que las otras anteriores. Mirar Figura 5.25.

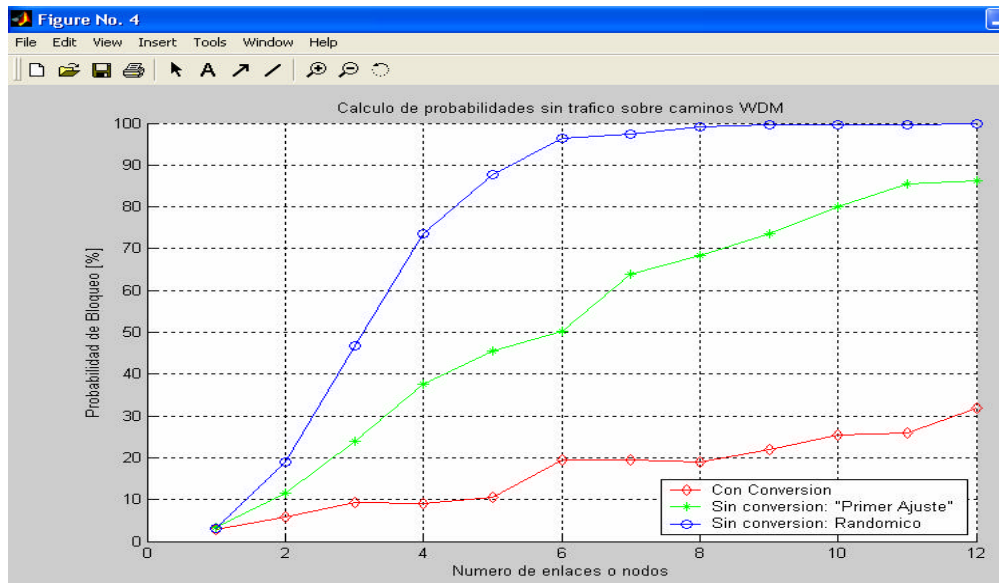


Figura 5.25. Probabilidad de bloqueo sin tráfico con tres Conversiones

6. Luego al observar la gráfica “Canales Utilizados Sin conversión: Primer Ajuste” (Figure No. 5); se puede mirar la cantidad de tiempo que fue usado en cada uno de los canales, al pasar tráfico por estos y se registra los datos. Ver Figura 5.26.

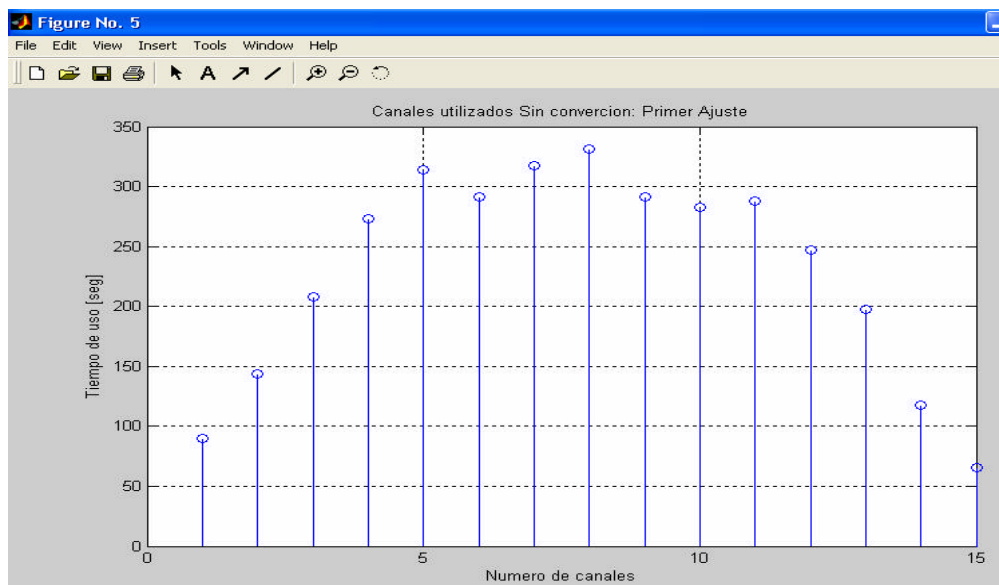


Figura 5.26. Tiempo de uso de Canales Sin Conversión: Primer Ajuste

7. Se repete el análisis del paso anterior esta vez para “Canales Utilizados Sin conversión: Randómico” (Figure No. 6). Mirar Figura 5.27.

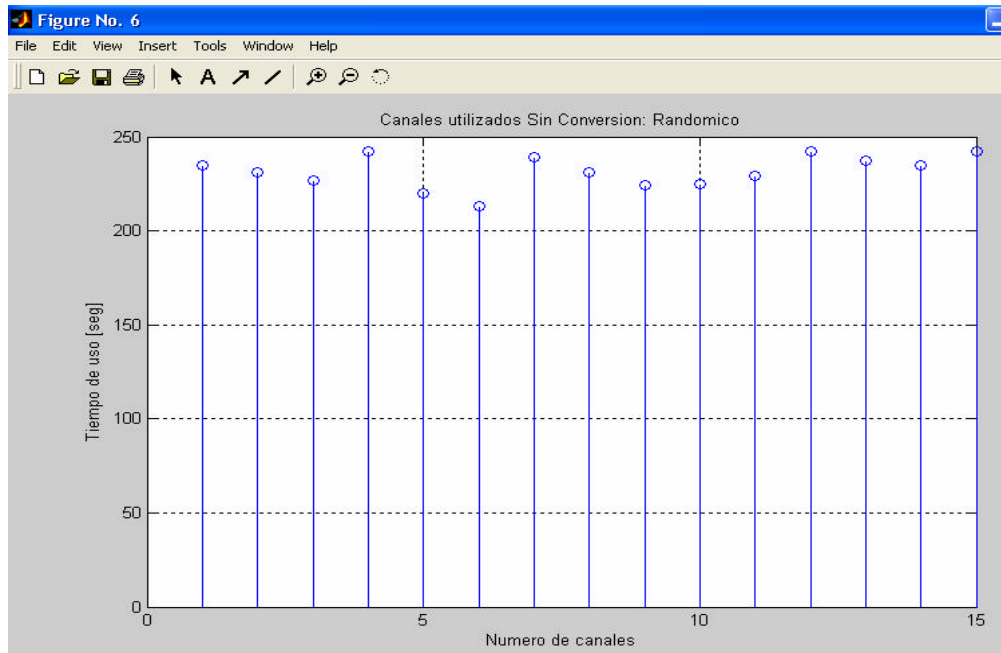


Figura 5.27. Tiempo de uso de Canales Sin Conversión: Randómica

8. Al observar la gráfica “Canales Utilizados Con Conversión” (Figure No. 7), se puede mirar claramente que de acuerdo a los datos ingresados solo se ocupa un canal, siendo este: el del inicio, el medio o el final. Por lo que se puede tener claro el funcionamiento de la Conversión con WDM. Esto se ilustra de mejor manera al observar la Figura 5.28.

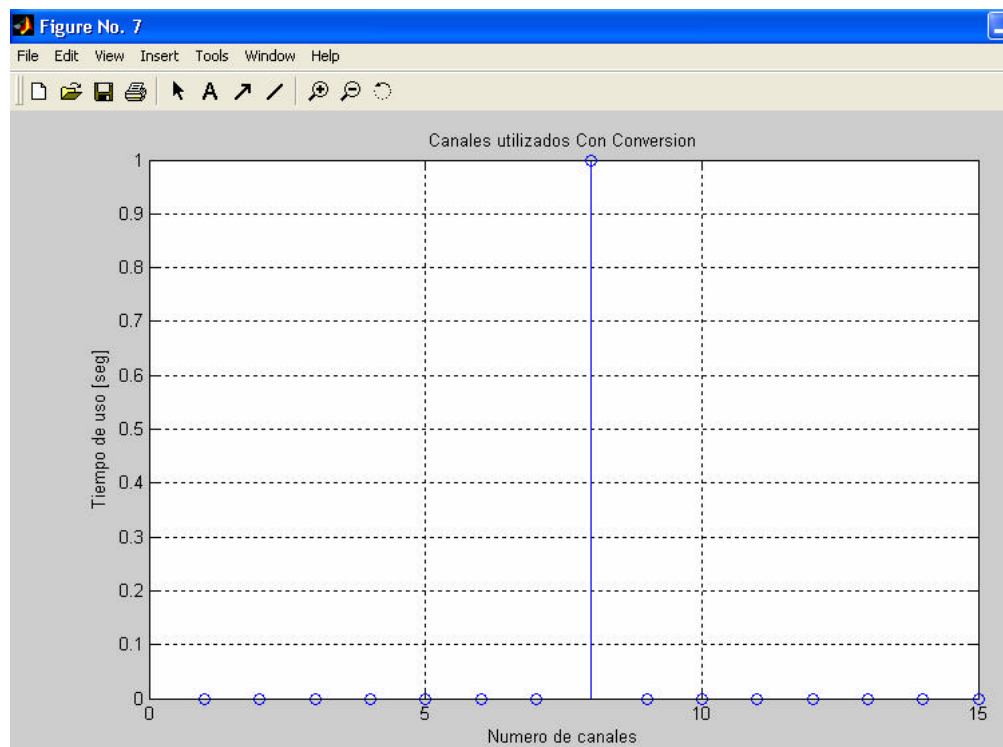


Figura 5.28. Tiempo de uso de Canales Con Conversión

- **Análisis de Resultados**

1. En los análisis realizados en las primeras gráficas, se puede observar la ventaja que se tiene al trabajar con sistemas de conversión completa, debido a que la probabilidad de bloqueo es menor, mientras más canales existen la probabilidad es inversa a estos.
2. En las gráficas 6, 7 y 8 se observa claramente como es aprovechado de mejor manera la utilización de un solo canal cuando trabajamos con WDM.
3. Al mirar los gráficos 6 y 7 podemos ver que, al utilizar un primer ajuste, existe una sobrecarga en el uso de los canales

intermedios, mientras que al trabajar de forma randómica todos los canales se equiparan en cuanto a la utilización de tiempo.

- Conclusiones

1. Al observar las gráficas se puede mirar las ventajas que nos permite tener la simulación de canales con WDM.
2. La utilización de WDM nos permite tener una reducción en la probabilidad de bloqueo con respecto a los otros métodos.
3. Con el uso de WDM el tiempo de uso de los canales no llegan a tener saturación, se mantiene estable mientras se transmiten datos.

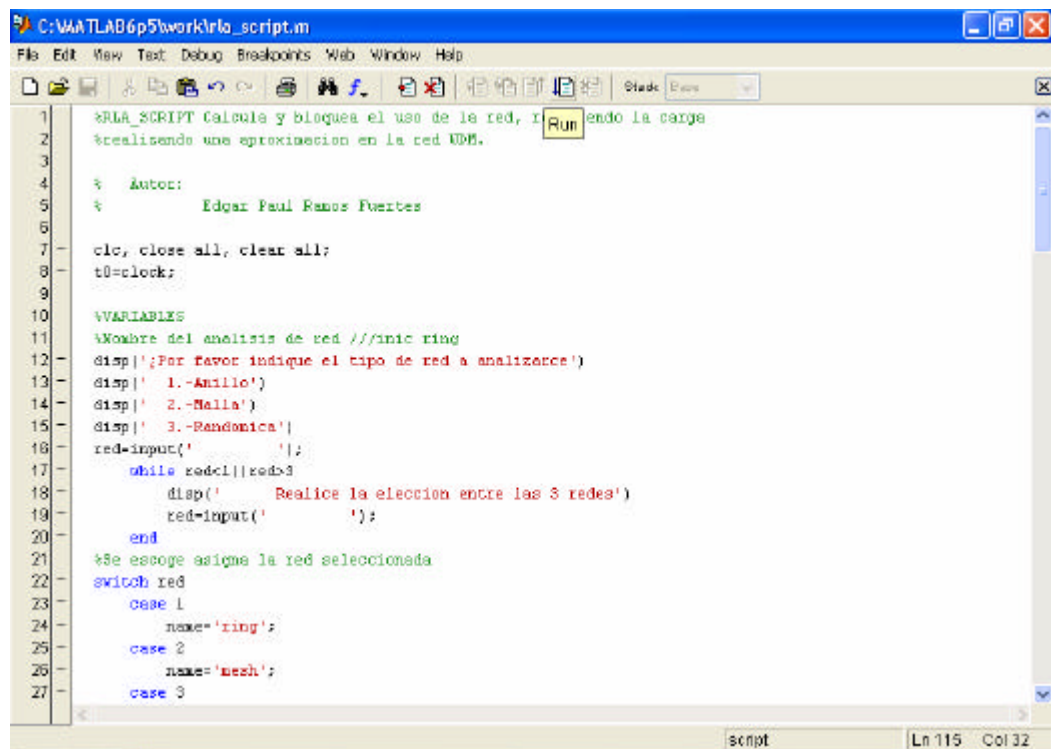
5.4 Guía de Práctica N° 3: Cálculo del bloqueo de la red utilizando WDM

- Objetivo

Determinar el vector de bloqueo mediante los métodos de: Birman y Kovacevic

- Procedimiento

1. Iniciar programa matlab versión 6.5. como se indica en la Figura 5.1
2. Correr el programa rla_script, ubicado en el siguiente camino: C:\MATLAB6p5\work\rla_script. Observar como se indica en la Figura 5.29.



```
1 %RLA_SCRIPT Calcula y bloquea el uso de la red, indicando la carga
2 %realizando una aproximación en la red WDM.
3
4 % Autor:
5 % Edgar Paul Ramos Puentes
6
7 clc, close all, clear all;
8 t0=clock;
9
10 %VARIABLES
11 %Nombre del analisis de red //inicio ring
12 disp(';Por favor indique el tipo de red a analizar');
13 disp(' 1.-Anillo')
14 disp(' 2.-Malla')
15 disp(' 3.-Randomica')
16 red=input(' ');
17 while red<1||red>3
18     disp(' Realice la eleccion entre las 3 redes')
19     red=input(' ');
20 end
21 %Se escoge asigne la red seleccionada
22 switch red
23     case 1
24         name='ring';
25     case 2
26         name='mesh';
27     case 3
```

Figura 5.29. Programa tercero, calculo del vector de bloqueo

- Indicar la red con la cual se va a realizar los análisis. Observar Figura 5.30.

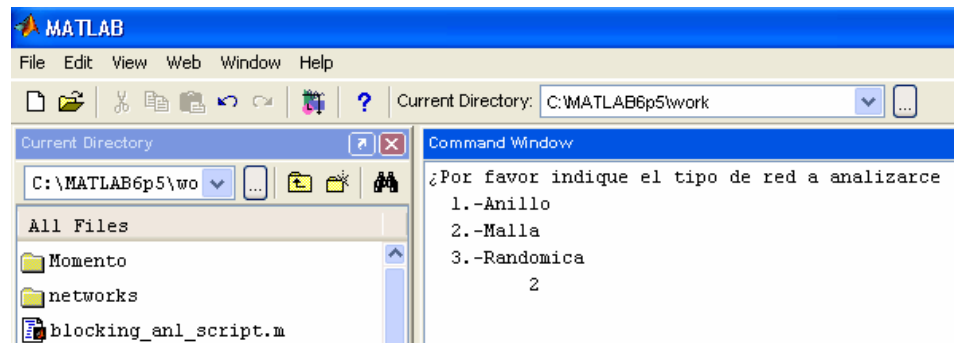


Figura 5.30. Elección de red a utilizarse, en programa tercero

- A continuación se debe realizar el ingreso de la cantidad de canales que tendrá la red. Ingresar el valor tal como se indica en la Figura 5.31.

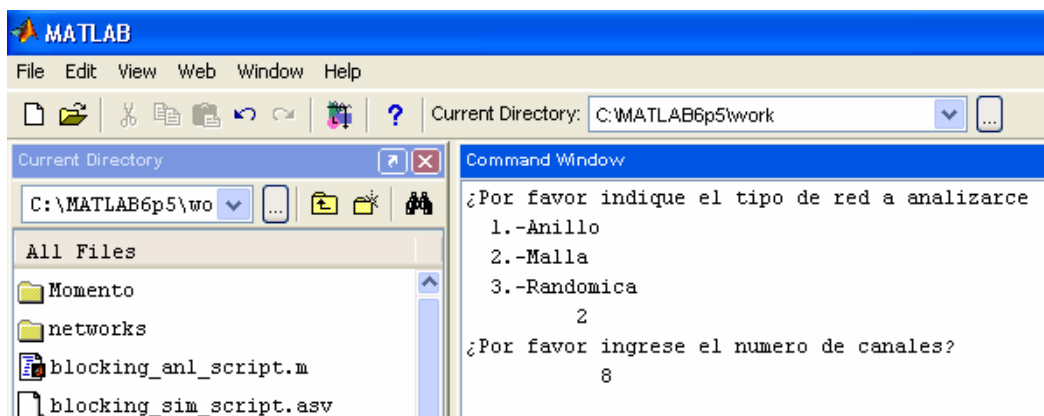


Figura 5.31. Ingreso de número de canales, en programa tercero

- Luego se procede a indicar el grado de tráfico que tendrá la red, pudiendo ser este: poco, medio, elevado o bastante. Indicar la elección mediante los números 1, 2, 3 o 4 como se muestra en la Figura 5.32.

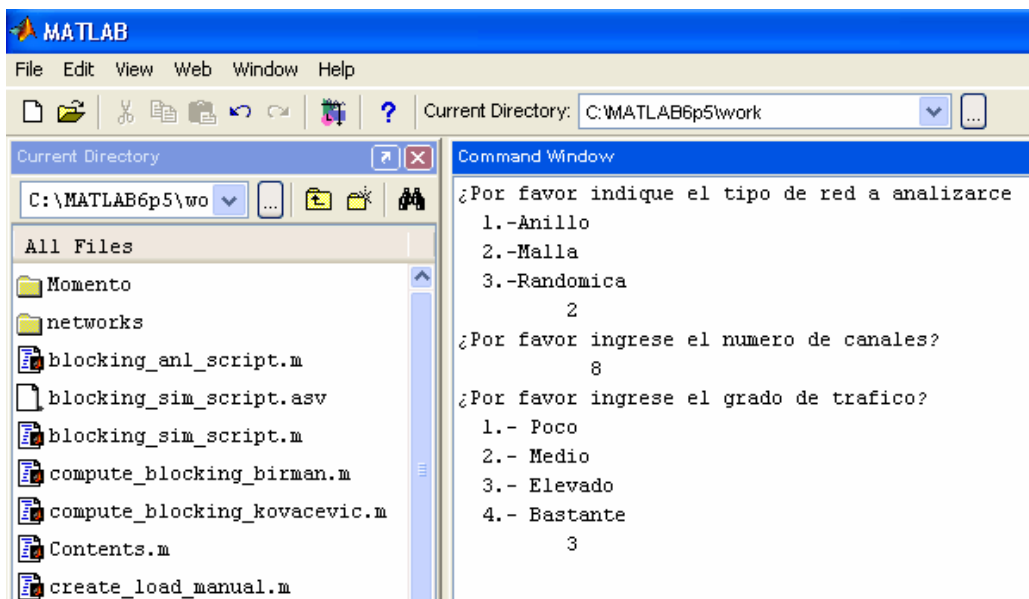


Figura 5.32. Grado de tráfico de la red, en programa tercero

6. Luego en el programa se debe ingresar el valor de incremento para trabajar la simulación del vector de la red. El valor es un decimal que se ingresa de manera similar como se muestra en la Figura 5.33.

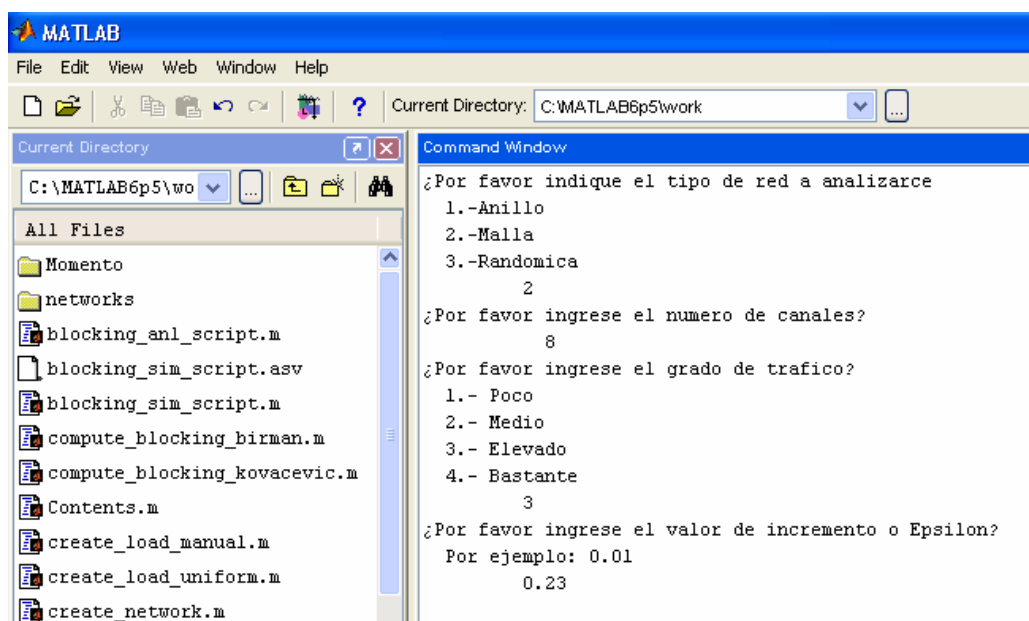


Figura 5.33. Ingreso de valor de incremento, en programa tercero

7. Terminado este paso se procede a indicar el método a utilizarse. Ver Figura 5.34.

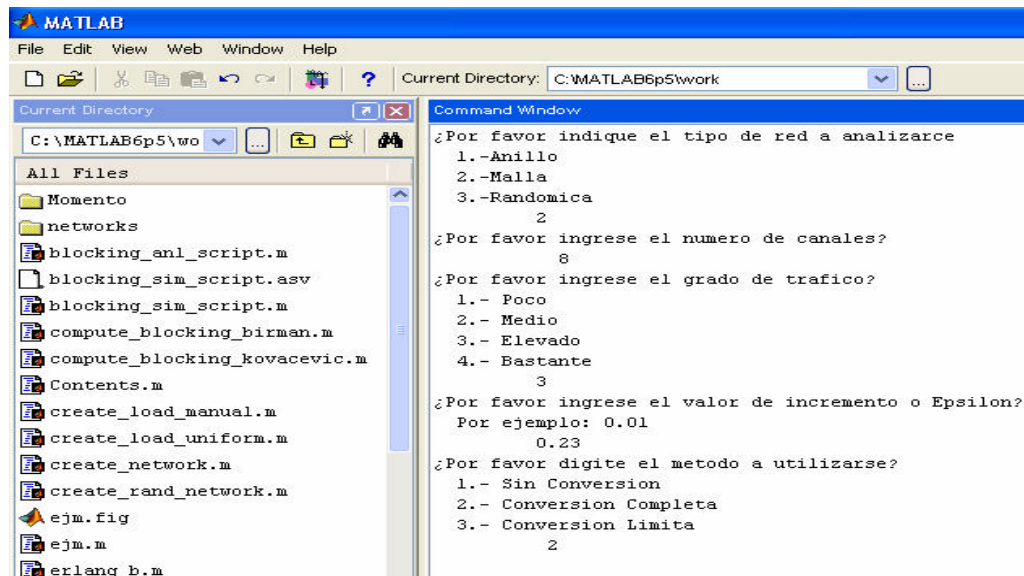


Figura 5.34. Elección de método a ser utilizado, en programa tercero

8. Mientras se realiza los cálculos se espera un momento para luego realizar la última elección del programa. Ver Figura 5.35.

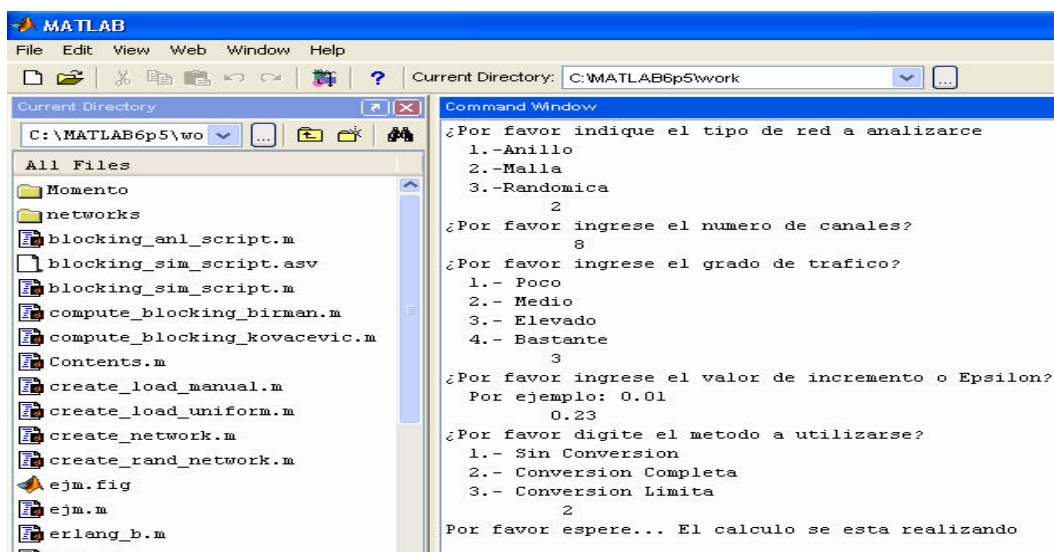


Figura 5.35. Momento de espera al realizar los cálculos, en programa tercero

- Finalmente se procede a realizar el análisis de las gráficas obtenidas. De igual manera que los programas anteriores al finalizarse, se puede observar el tiempo de operación como se indica en la Figura 5.36.

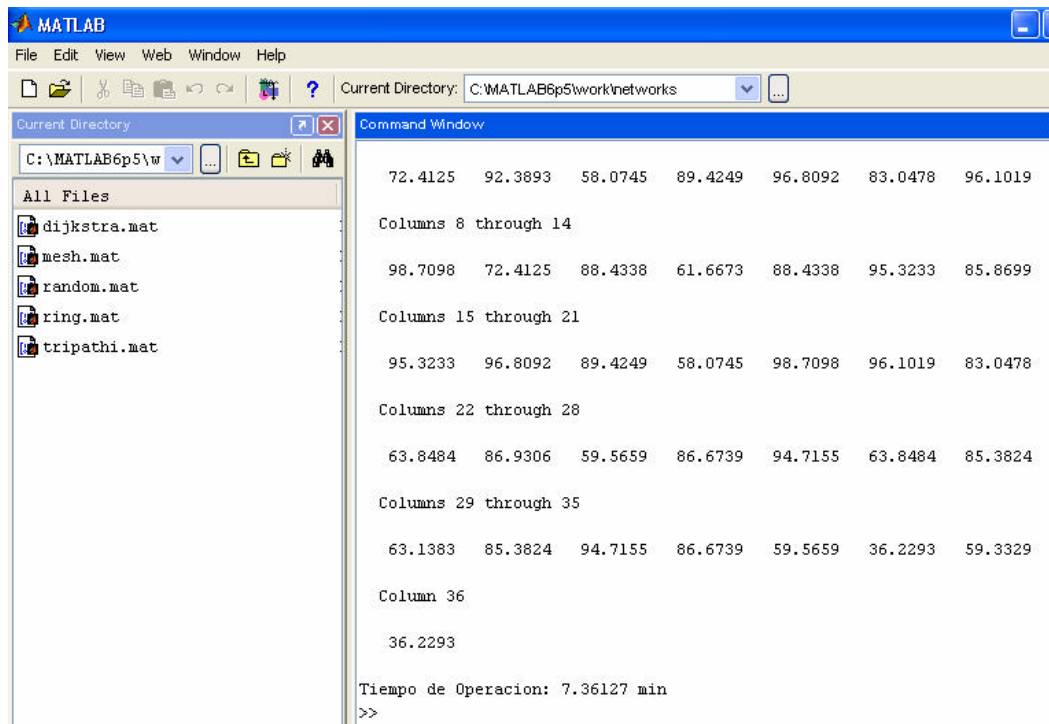


Figura 5.36. Tiempo de operación, en programa tercero

- Desarrollo
 - Luego de obtener las gráficas se procede a realizar el análisis respectivo.
 - En la primera gráfica (Ver figura 5.37.) se puede observar los datos del vector de bloqueo, luego en forma gráfica a través del Algoritmo de Kovacevic se puede tener la eficiencia de la red analizada. Ver Figura 5.38.

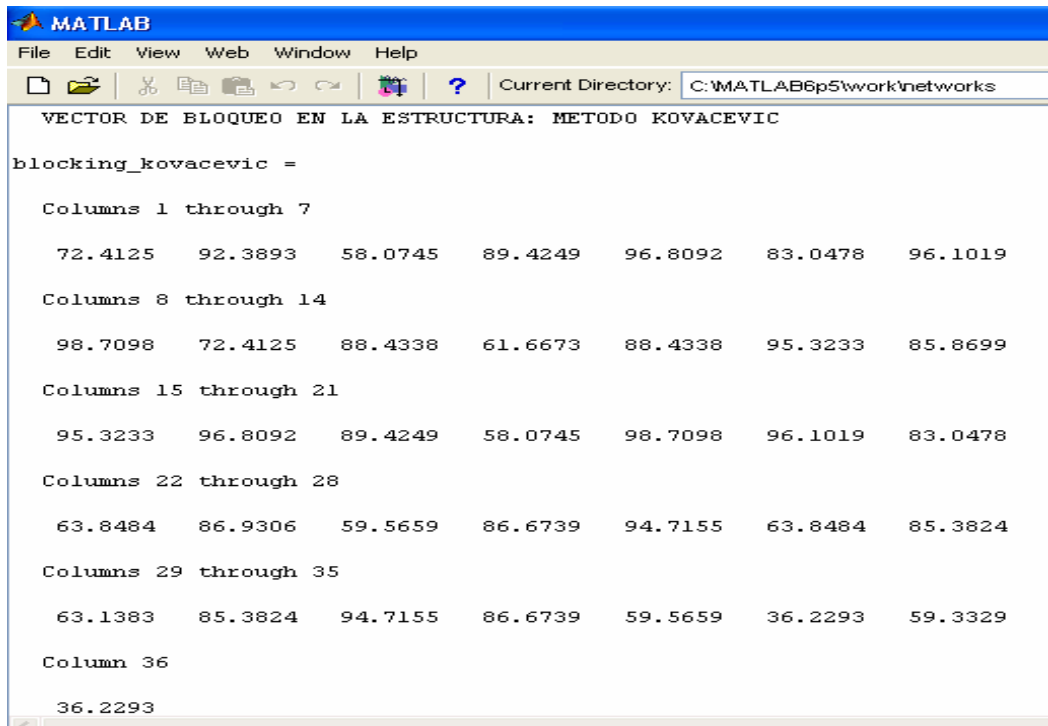


Figura 5.37. Vector de Bloqueo utilizando algoritmo de Kovacevic

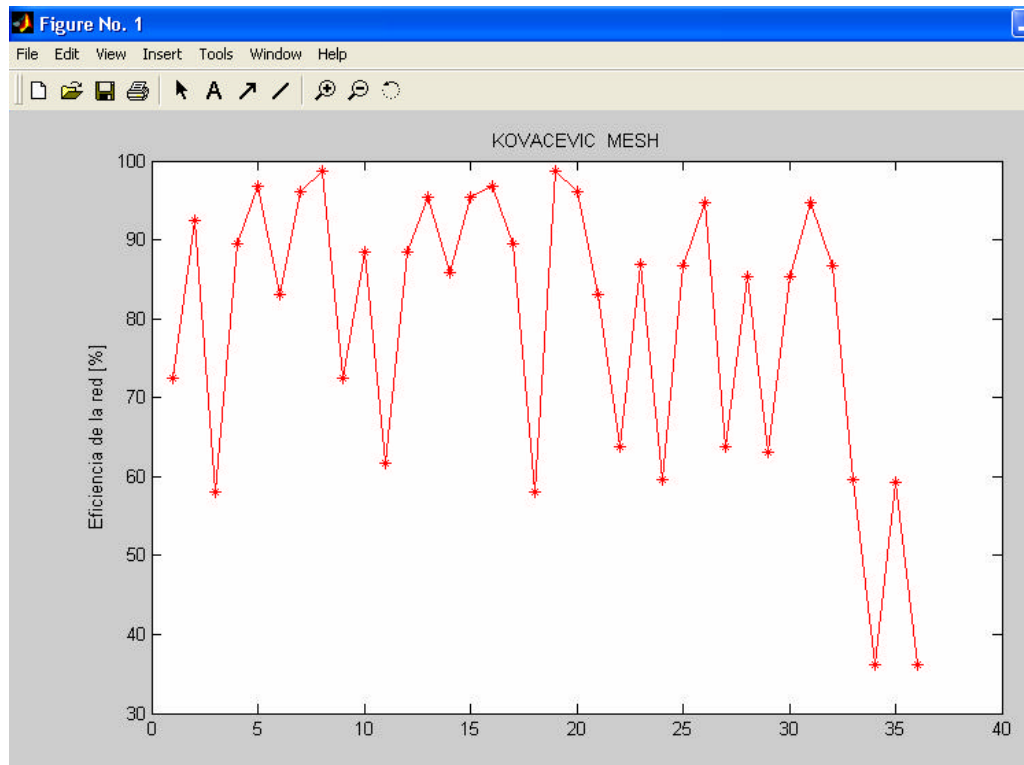


Figura 5.38. Eficiencia de la red utilizando Algoritmo de Kovacevic

3. Luego se procede a realizar el análisis para el otro algoritmo, es decir de Birman, de esta forma se obtiene el vector de bloqueo (Ver Figura 5.39) y la eficiencia de la red en forma gráfica (Ver Figura 5.40.)

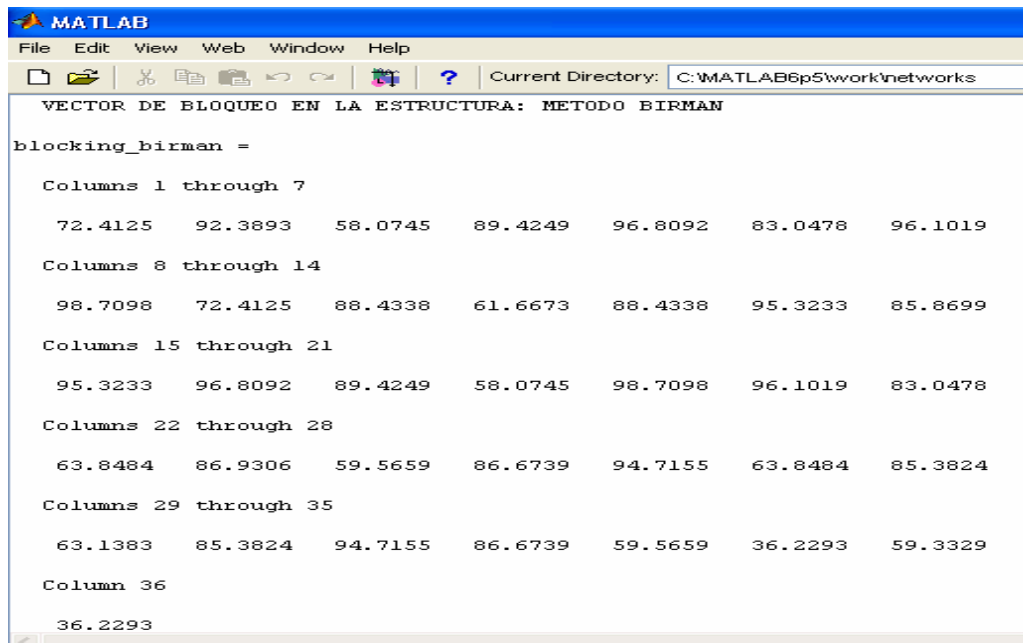


Figura 5.39. Vector de Bloqueo utilizando algoritmo de Birman

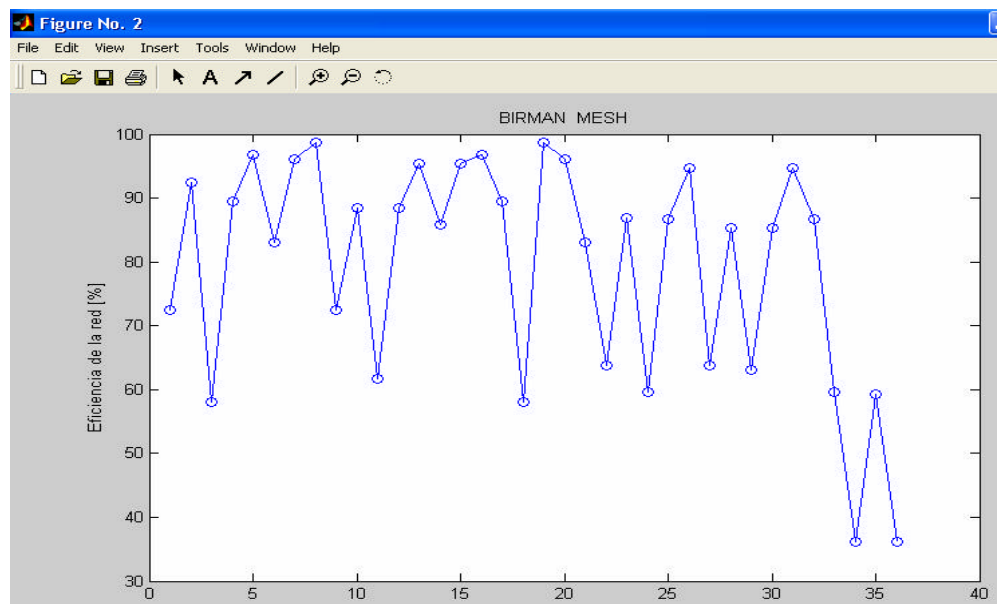


Figura 5.40. Eficiencia de la red utilizando Algoritmo de Birman

- Análisis de Resultados
 1. Las gráficas demuestran claramente que las gráficas de los algoritmos son similares, por lo que los dos métodos poseen vigencia en su utilización
 2. Al tener gráficas completamente similares se puede observar que no existe preferencia para elegir tal o cual método.
 3. Los métodos son similares pero con diferentes analogías por lo que los resultados son los mismos
- Conclusiones
 1. Los dos métodos utilizados permiten obtener una eficiencia aproximada de 80.56%, en la simulación de la red.
 2. Los métodos permiten demostrar que tanto uno como otro son muy eficientes para su utilización en la ejecución de redes, sean estas en malla, anillo o randómica.

5.5 Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica, es una herramienta que posee el programa Matlab. A través de éste medio, se logra generar una presentación de manera más amigable para el usuario. Es decir, al ejecutarse el programa se facilita su utilización puesto que no es necesario ingresar al código fuente para su funcionamiento.

Los programas anteriormente descritos en las tres prácticas de laboratorio y su funcionamiento se los puede observar a través de GUIDE de MATLAB, bajo las siguientes instrucciones:

1. Ingresar en programa MATLAB, como se muestra en la figura 5.41



Figura 5.41. Inicio de Programa MATLAB 7.0

2. Luego se procede a digitar el comando GUIDE de la forma como se muestra en la figura 5.42 y damos un enter.

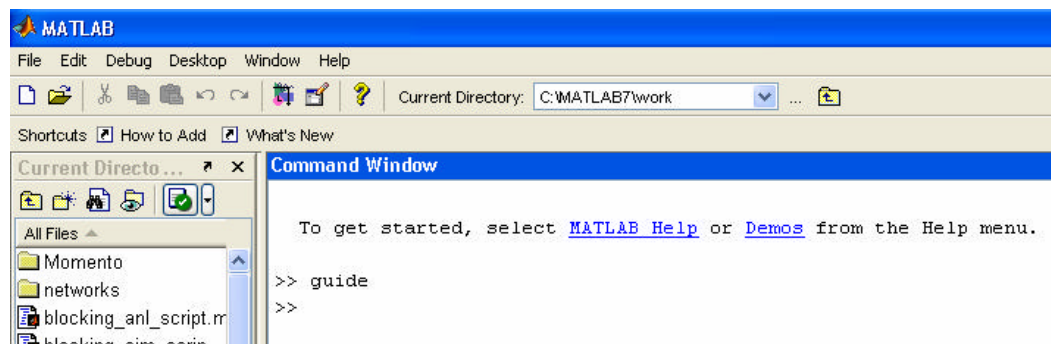


Figura 5.42. Inicio de comando GUIDE

- Al digitar el comando GUIDE se abre una nueva ventana en la que se elige la viñeta *Open Existing GUI*, esto porque se desea ejecutar los programas que están elaborados, en caso de realizar un nuevo programa, se escoge la viñeta *Create New GUI*. Mirar la figura 5.43

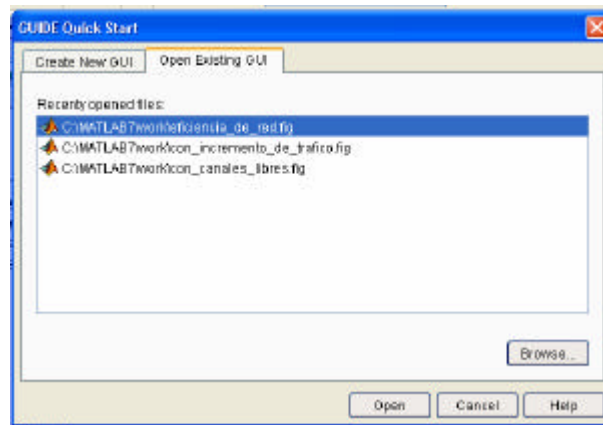


Figura 5.43. Visualización de archivos Guide existentes

- En la ventana anterior, se elige el programa a ser ejecutado. En este caso se escoge *con_incremento_de_trafico*, es decir se va a realizar la primera práctica. Ver la figura 5.44.

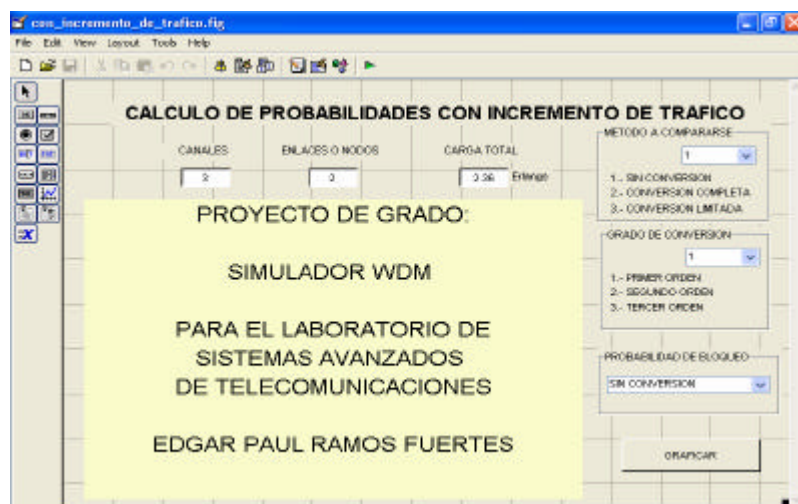



Figura 5.44. Cálculo de Probabilidades de Bloqueo con incremento de tráfico usando Guide

5. Para hacer correr el programa es necesario dar un Ctrl+T o dar clic

en Run , posteriormente se ingresa los datos requeridos en los casilleros, y se escoge entre las opciones desplegadas la que se desea analizar. Si no se escoge valores se puede directamente dar un clic sobre graficar y el programa toma los valores predeterminados. Como se indica en la figura 5.45.

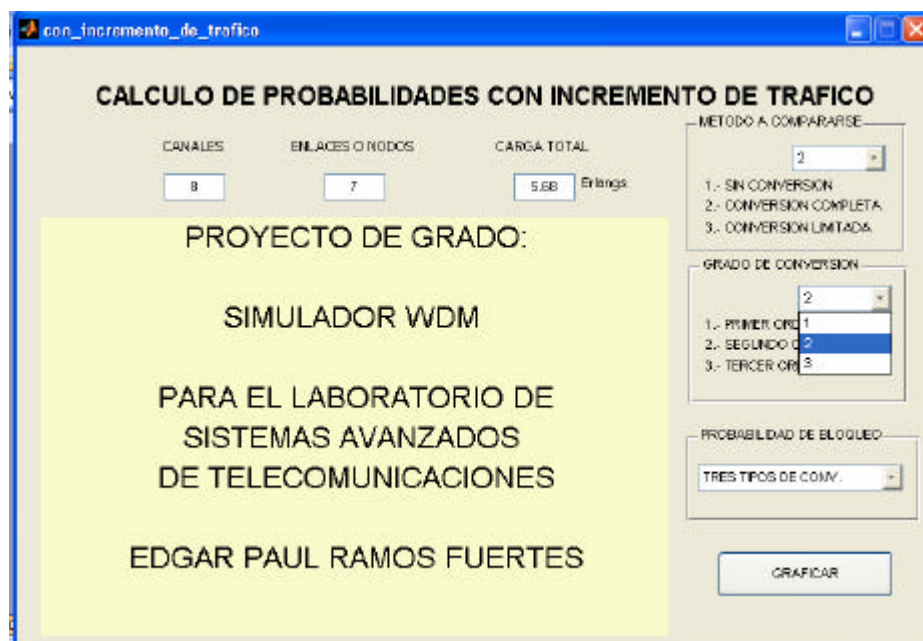


Figura 5.45. Ingreso de datos en programa

6. Posteriormente se procede a dar un clic OK en la advertencia que se ejecuta dentro del programa como se muestra en la figura 5.46

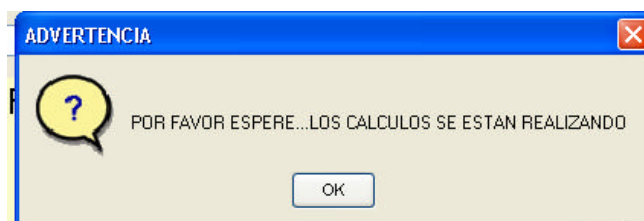


Figura 5.46. Advertencia que los cálculos se están realizando

7. Luego se obtiene la gráfica elegida para de esta forma ser visualizada y realizar sus respectivos análisis, como se muestra en la figura 5.47

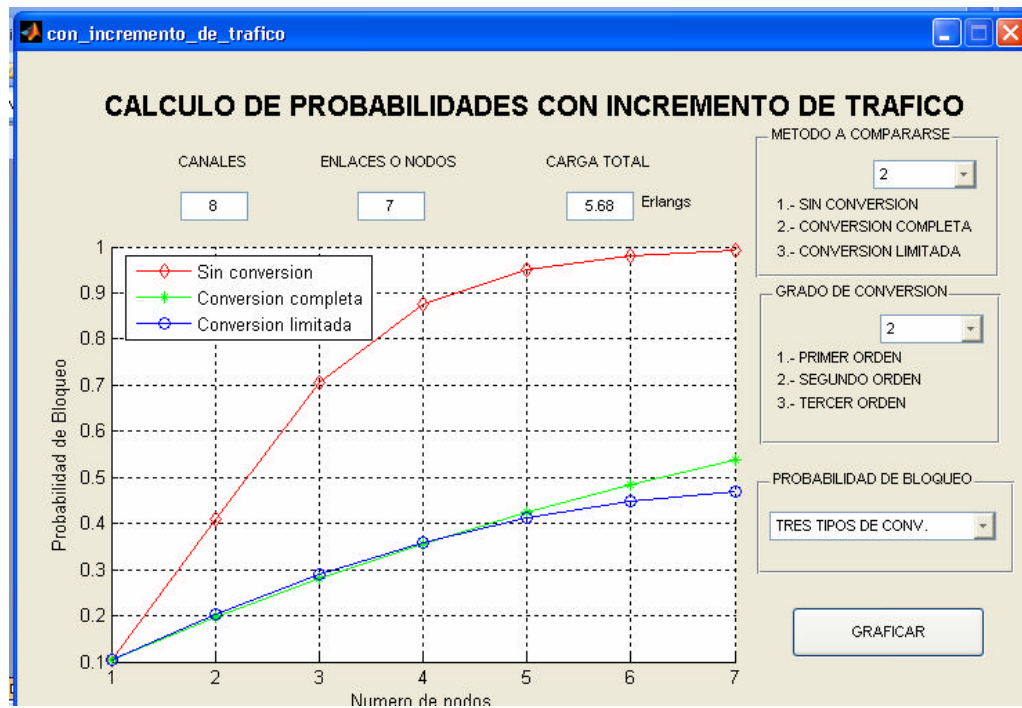


Figura 5.47. Gráfica de resultados obtenidos en primera práctica

8. Finalmente se obtiene el tiempo de ejecución que se demoró el programa en ejecutarse. Mirar Figura 5.48.

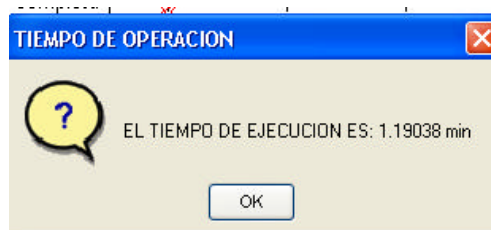


Figura 5.48. Tiempo de ejecución de primer programa

9. Si se desea nuevamente realizar los cálculos, pero únicamente se desea variar unos pocos datos, lo que se debe hacer es cambiar dichos datos y volver a dar un clic sobre graficar, tal como se muestra en la figura 5.49.

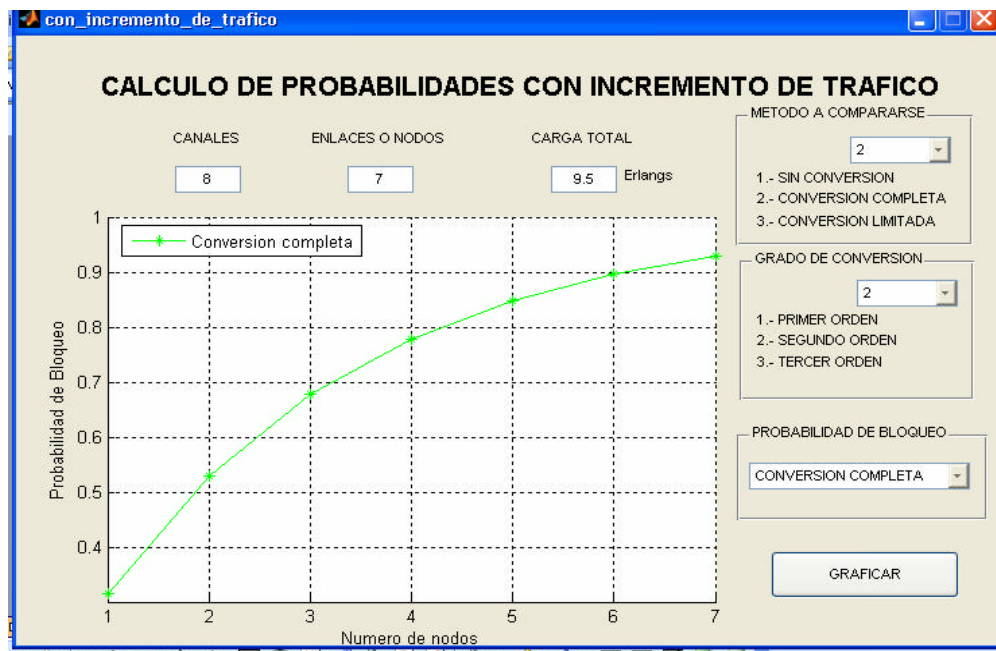


Figura 5.49. Gráfica de resultados al variar datos en primer programa

10. De forma similar se ejecuta el siguiente programa, repitiendo los pasos 1 – 3 en el paso cuarto se elige con_canales_libres y se obtiene así la interfaz gráfica como se muestra en la figura 5.50.
11. Luego se realiza la ejecución del programa de manera similar como se indicó en el paso 5 y posteriormente se realiza el ingreso de datos en los casilleros como en las opciones desplegadas, esto se lo muestra en la figura 5.51.
12. En este caso se tiene dos botones de graficar esto se debe hay dos opciones para ser visualizadas, la primera es la probabilidad de bloqueo y la otra es el tiempo de uso del canal elegido.

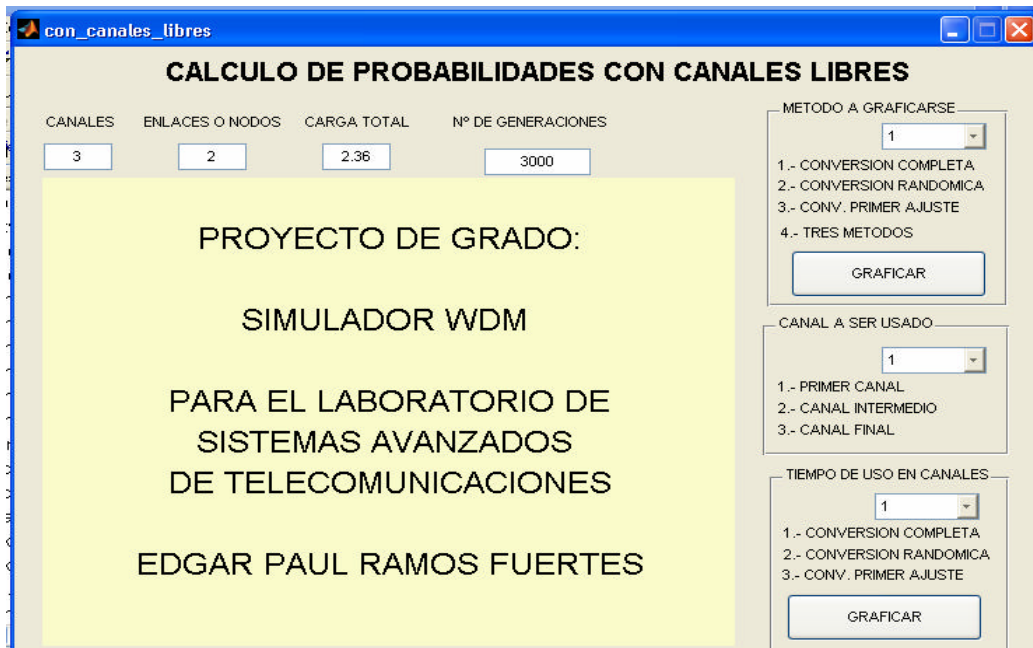


Figura 5.50. Cálculo de Probabilidades de Bloqueo con canales libres usando Guide

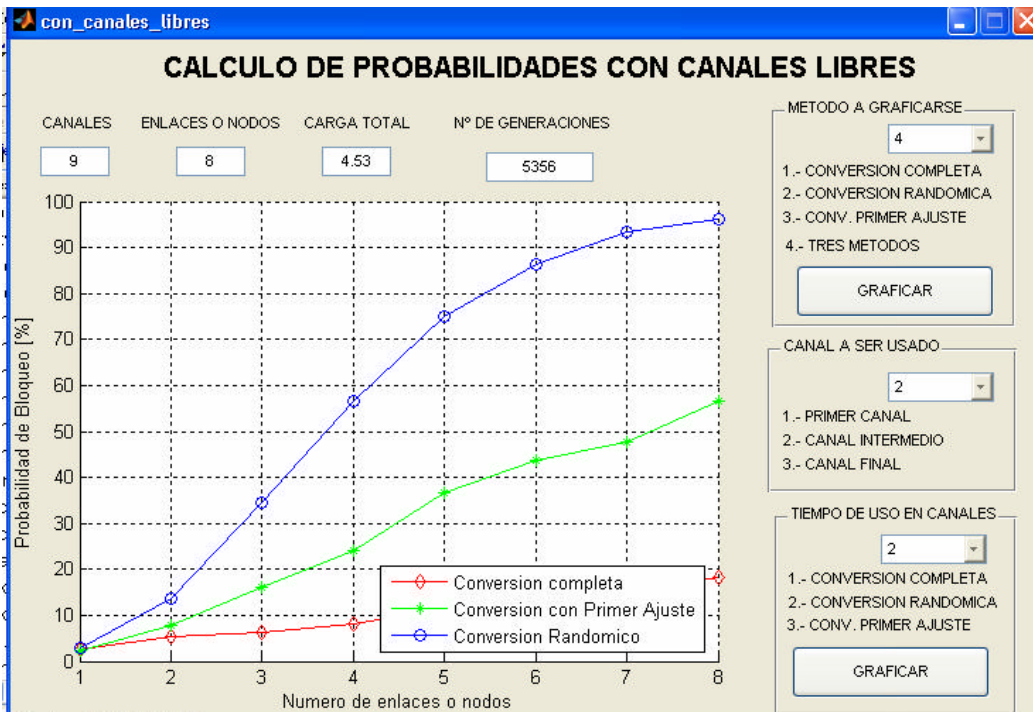


Figura 5.51. Resultado de Gráfica probabilidad de bloqueo con canales libres

13. Para calcular el tiempo de uso de los canales se da clic en el botón graficar que esta dentro de *Tiempo de uso en canales* y se obtiene el resultado como el indicado en la figura 5.52

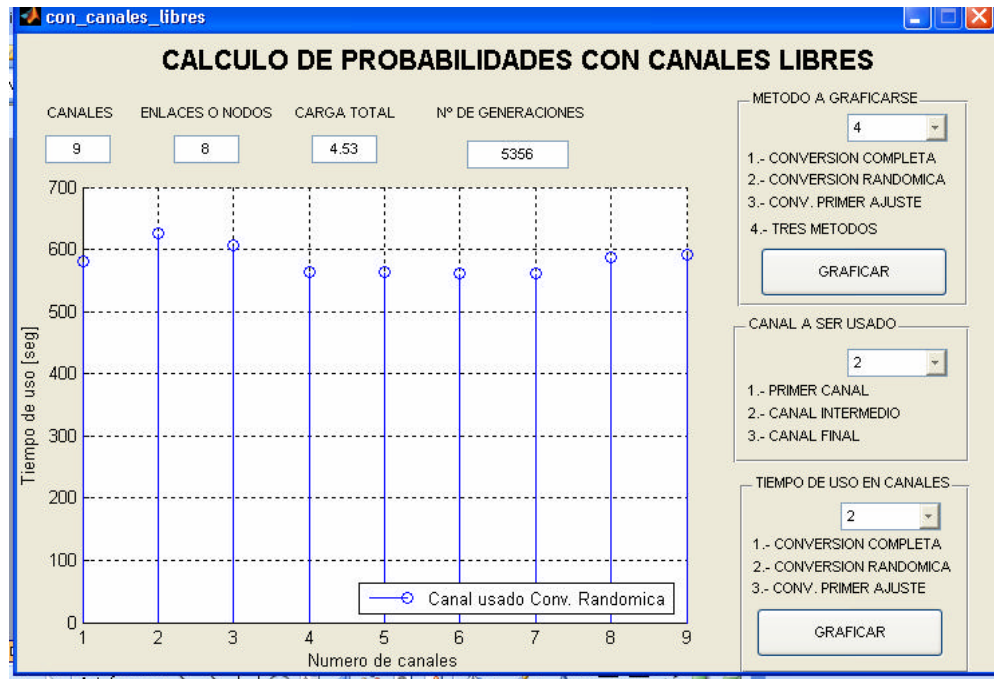


Figura 5.52. Tiempo de uso de los canales

14. De forma similar se ejecuta el último programa, repitiendo los pasos 1 – 3 en el paso cuarto se elige *eficiencia_de_red* y se obtiene así la interfaz gráfica como se muestra en la figura 5.53.
15. Posteriormente se realiza la ejecución del programa como se indicó en el paso 5.
16. Luego se ingresan los datos requeridos y se elige entre las opciones que necesitan ser tomadas como dato.

17. Finalmente se da un clic en el botón GRAFICAR y se obtiene el resultado de la eficiencia de la red tal como se muestra en la figura 5.54.

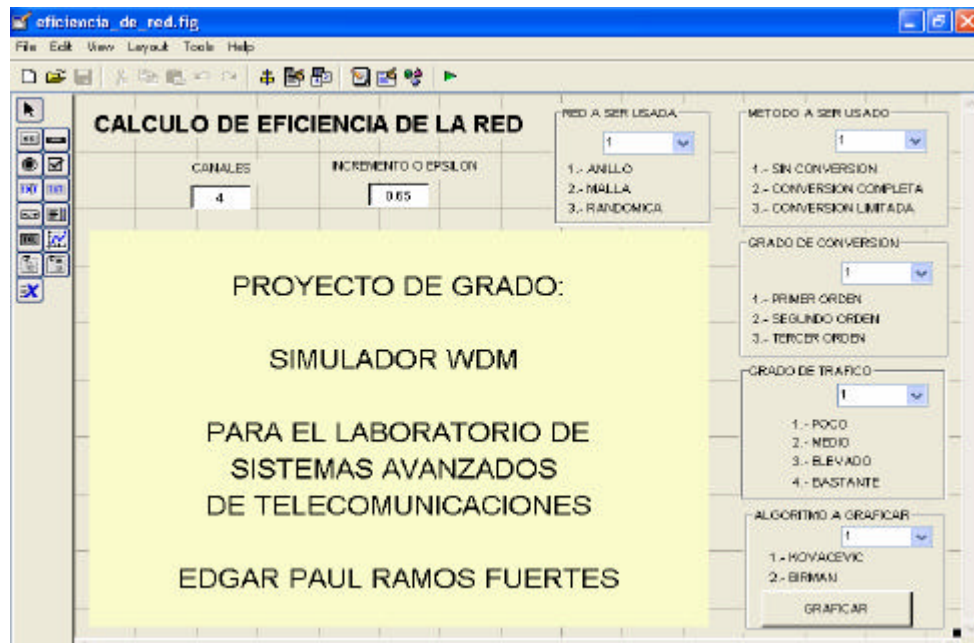


Figura 5.53. Cálculo de eficiencia de la red usando GUIDE

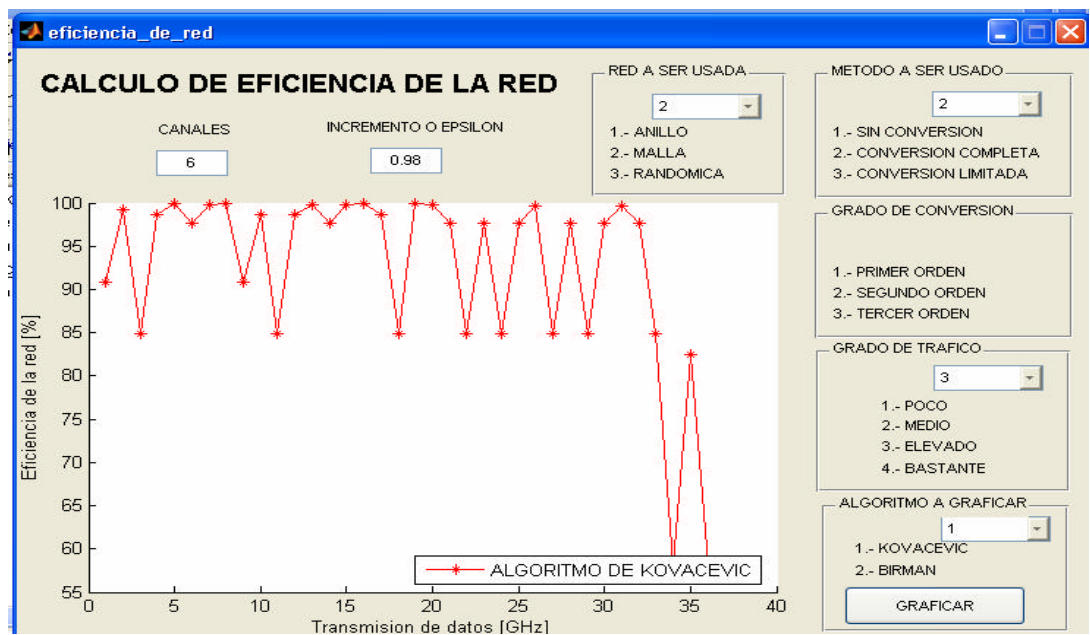


Figura 5.54. Resultado de la eficiencia de red

18. Por último, se puede observar el vector de bloqueo que se lo muestra en la ventana principal de MATLAB. Mirar figura 5.55.

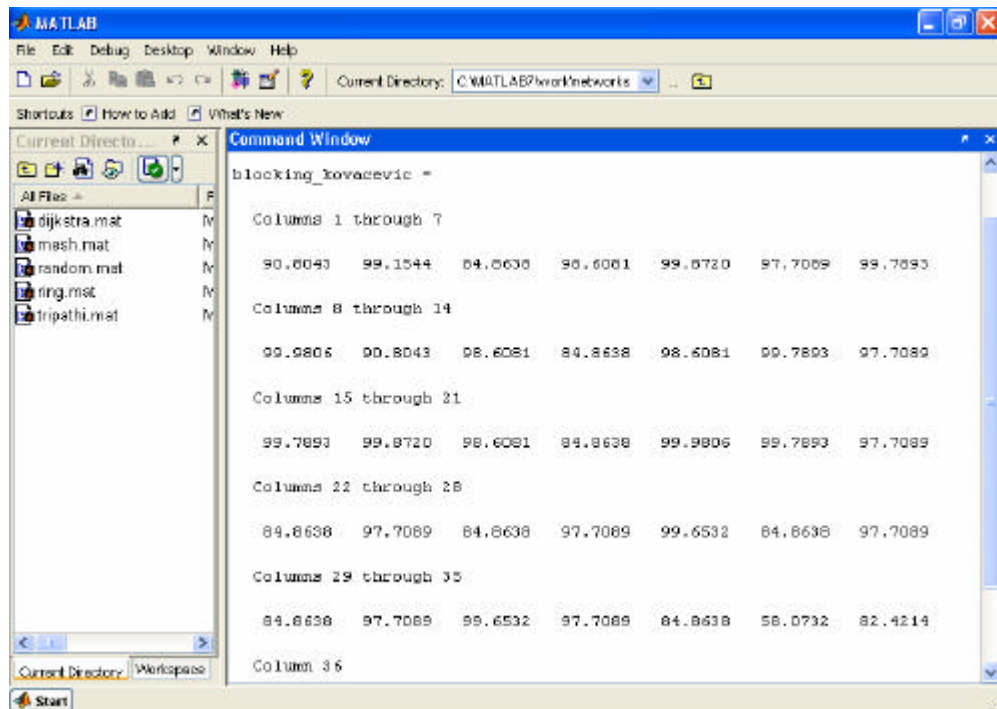


Figura 5.55. Vector de bloqueo usando Kovacevic

19. Si se necesita ver otros resultados, lo único necesario es realizar los cambios en el parámetro que se desea realizar la modificación, y así finalmente se da un clic en el botón graficar, se espera unos minutos y se obtiene las gráficas y se puede visualizar los resultados.
20. En los tres programas se obtiene al final del programa el tiempo de ejecución en una ventana de dialogo.

Referencias Bibliográficas

[1] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=510910&isnumber=10916

[2] <http://portal.acm.org/citation.cfm?coll=GUIDE&dl=GUIDE&id=854143#citings>

[3] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=887931

[4] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?tp=&arnumber=222911

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto se diseñó un Simulador de WDM, para el área de Telecomunicaciones en el Departamento de Eléctrica y Electrónica. El desarrollo e implementación de éste simulador permitieron obtener las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El simulador es una herramienta muy útil para observar el comportamiento que tendría en la práctica la tecnología WDM y su funcionamiento en las redes ópticas.
- Con las rutinas de programación en MATLAB se logró comprobar las ventajas que posee el uso de la tecnología WDM, específicamente al utilizar fibras monomodo.
- A través de las prácticas se puede observar como la tecnología WDM es una gran evolución para el trabajo con fibra óptica, esto se puede observar en los resultados obtenidos en las gráficas, determinando así que la probabilidad de bloqueo es menor cuando se trabaja con WDM, esto porque permitir integrar todas las señales con diferente longitud de onda en una sola señal para ser posteriormente enviada.

- Los simuladores constituyen una gran ayuda para determinar la efectividad de un sistema a ser analizado, mediante las prácticas en donde se puede observar la eficiencia de la red, logrando comprobar así las ventajas en el uso de WDM por lo que resulta ser muy viable su respectiva implementación.
- Las gráficas en las prácticas, dan una clara muestra de lo necesario en realizar una conversión antes de transmitir los datos por la fibra óptica, cuando en los enlaces se realiza un incremento de tráfico, o cuando los enlaces se encuentran libres. De esta manera, se logra optimizar recursos, aprovechar la fibra de mejor manera e incrementar la tasa de transmisión de información por un mismo medio.
- Es recomendable que los alumnos se familiaricen con programa MATLAB desde niveles bajos y así le capten interés a la programación.
- Es recomendable que se sigan elaborando tesis para el Departamento de Eléctrica y Electrónica, de esta forma los alumnos que ya terminamos nuestros estudios dejamos un aporte para nuestros compañeros que continúan en esta carrera.
- La materia de Sistemas Avanzados de Telecomunicaciones es muy propicia para conocer medios de actividades profesionales, en el cual los alumnos nos veríamos trabajando a futuro, por eso es aconsejable que se sigan realizando proyectos de tesis para este laboratorio.

ANEXOS

ANEXOS

- Anexo 1 Optical Carrier Specifications
- Anexo 2 Características de Fibra Multimodo 50/125
- Anexo 3 Características de Fibra Monomodo Estandar
- Anexo 4 Características de Fibra Monomodo (Dispersion Shift)
- Anexo 5 Características de Fibra Monomodo de Mínima Atenuación
- Anexo 6 Características de Fibra Monomodo (Non Zero Dispersion Shift)
- Anexo 7 Normas técnicas de la ITU-T
- Anexo 8 Codificación de Programa BLOCKING_SIM_SCRIPT para Matlab
- Anexo 9 Codificación de Programa LINK_SIM_CONV para Matlab
- Anexo 10 Codificación de Programa LINK_SIM_NO_CONV para Matlab
- Anexo 11 Codificación de Programa BLOCKING_ANL_SCRIPT para Matlab
- Anexo 12 Codificación de Programa P_L para Matlab
- Anexo 13 Codificación de Programa P_M para Matlab
- Anexo 14 Codificación de Programa RLA_SCRIPT para Matlab
Codificación de Programa COMPUTE_BLOCKING_KOVACEVIC para Matlab
- Anexo 15 Codificación de Programa COMPUTE_BLOCKING_BIRMAN para Matlab
- Anexo 16 Codificación de Programa ERLANG_B para Matlab
- Anexo 17 Normativa G652 de la UIT-T
- Anexo 18 Normativa G653 de la UIT-T
- Anexo 19 Normativa G655 de la UIT-T
- Anexo 20 Normativa G692 de la UIT-T
- Anexo 21 Normativa G694.2 de la UIT-T

ANEXO 1: Optical Carrier Specifications

OC-1, OC-3, etc. – Optical Carrier; OC designates an optical fiber based telecommunications link that is part of the synchronous optical hierarchy (see SONET). OC-1 is equivalent to a DS-3, OC-3 provide 155.52 mbps of bandwidth or 2,016 voice-grade channels, OC-12 provides 622 mbps or over 8,000 voice grade channels, OC-48 provides nearly 2,5000 mbps or over 32,000 voice-grade channels. [1]

Optical Carrier levels describe a range of digital signals that can be carried on SONET fiber optic network. The number in the Optical Carrier level is directly proportional to the data rate of the bitstream carried by the digital signal.

The general rule for calculating the speed of Optical Carrier lines is when a specification is given as OC-*n*, that the speed will equal $n \times 51.8$ Mbit/s

Optical Carrier specifications (in use)

OC-1

OC-1 is a SONET line with transmission speeds of up to 51.84 Mbit/s (payload: 50.112 Mbit/s; overhead: 1.728 Mbit/s) using optical fiber. This base rate is multiplied for use by other OC-*n* standards. For example, an OC-3 connection is 3 times the rate of OC-1.

OC-3 (STM-1x)

OC-3 is a network line with transmission speeds of up to 155.52 Mbit/s (payload: 148.608 Mbit/s; overhead: 6.912 Mbit/s, including path overhead) using fiber optics. Depending on the system OC-3 is also known as STS-3 (electrical level) and STM-1 (SDH).

When OC-3 is not multiplexed by carrying the data from a single source, the letter *c* (standing for concatenated) is appended: **OC-3c**.

OC-3c

OC-3c concatenates three STS-1(OC-1) frames. Concatenated STS(OC) frames carry only one column of path overhead because they cannot be divided into finer granularity signals. Hence, OC-3c can transmit more payload to accommodate a CEPT-4 139.264 Mbps signal. The payload rate is 149.76 Mbps and overhead is 5.76 Mbps.

OC-12 (STM-4x)

OC-12 is a network line with transmission speeds of up to 622.08 Mbit/s (payload: 601.344 Mbit/s; overhead: 20.736 Mbit/s).

OC-12 lines are commonly used by ISPs as WAN connections. While a large ISP would not use an OC-12 as a backbone (main link), it would for smaller, regional or local connections. This connection speed is also often used by mid-sized (below Tier 2) internet customers, such as web hosting companies or smaller ISPs buying service from larger ones.

OC-24

OC-24 is a network line with transmission speeds of up to 1243.68 Mbit/s (payload: 1202.208 Mbit/s; overhead: 41.472 Mbit/s). Implementations of OC-24 in commercial deployments are rare.

OC-48 (STM-16x)

OC-48 is a network line with transmission speeds of up to 2488.32 Mbit/s (payload: 2405.376 Mbit/s; overhead: 82.944 Mbit/s).

OC-48 connections are some of the fastest data connections in use today. Faster than OC-3, OC-12 connections, and even surpassing gigabit Ethernet, OC-48 connections are used as the backbones of many regional ISPs. Interconnections between large ISPs for purposes of peering or transit are quite common. As of 2005, the only connections in widespread use that surpass OC-48 speeds are OC-192 and 10 gigabit Ethernet.

OC-96

OC-96 is a network line with transmission speeds of up to 4976.64 Mbit/s (payload: 4810.752 Mbit/s; overhead: 165.888 Mbit/s). Implementations of OC-96 in commercial deployments are rare, if ever used at all.

OC-192 (STM-64x)

OC-192 is a network line with transmission speeds of up to 9953.28 Mbit/s (payload: 9621.504 Mbit/s; overhead: 331.776 Mbit/s). This is the fastest connection commonly available of the Internet.

A standardized variant of 10 gigabit Ethernet (10GbE), called WAN-PHY, is designed to interoperate with OC-192 transport equipment while the common version of 10GbE is called LAN-PHY (which is not compatible with OC-192 transport equipment in its native form). The naming is somewhat misleading, because both variants are suitable for use on a wide area network.

As of 2005, OC-192 connections are the most common for use on the backbones of large ISPs.

OC-768 (STM-256x)

OC-768 is a network line with transmission speeds of up to 39,813.12 Mbit/s (payload: 38,486.016 Mbit/s; overhead: 1327.104 Mbit/s).

As of 2006, use of OC-768 connections outside of research or testing networks is quite rare, because of the high cost as opposed to link-bundled OC-192 and sheer lack of need for such speeds. However many large multi-nationals are developing their NGN with the ability to handle speeds up to OC-768 for future converged service operation.

Optical Carrier specifications (unused)

Note: All of the following OC lines are theoretical. None of these are currently in use.

OC-256

OC-256, when launched will be able to provide transmission speeds of around 13.27104 Gbps.

OC-384

OC-384, when launched will be able to provide transmission speeds of around 19.90656 Gbps.

OC-1536

Will be able to provide transmission speeds of around 79.62624 Gbps. It is unknown if such standards will be implemented in the near future.

OC-3072

Will be able to provide transmission speeds of around 159.25248 Gbps. It is unknown if such standards will be implemented in the near future.[2]

In the table view as Nonsynchronous Hierarchy [3]

Signal	Bit Rate (Mbps)	Capacity
STS-1, OC-1	51.840	28 DS-1s or 1 DS-3
STS-3, OC-3	155.520	84 DS-1s or 3 DS-3s
STS-12, OC-12	622.080	336 DS-1s or 12 DS-3s
STS-48, OC-48	2,488.320	1,344 DS-1s or 48 DS-3s
STS-192, OC-192	9,953.280	5,376 DS-1s or 192 DS-3s
Note: STS = synchronous transport signal; OC = optical carrier		

[1] <http://www.gccc.com/pdf/telecom/terms.pdf>

[2] <http://en.wikipedia.org/wiki/OC-192>

[3] <http://www.iec.org/online/tutorials/sonet/topic01.html>

Anexo 2: Características de Fibra Multimodo 50/125

FIBRA MULTIMODO 50/125	ITU-T (CCITT) G.651
Apertura numérica	NA= 0,18 a 0,24 (+/- 10%)
Perfil del índice de refracción	Graded index
Relación de índices de refracción [(n1 - n2) / n1]	1,55%
Diámetro del núcleo	50 µm (+/- 3 µm)
Diámetro del revestimiento	125 µm (+/- 3 µm)
Recubrimiento de silicona Coating	245 µm (+/- 10 µm)
Error de concentricidad	6%
Error de circularidad del núcleo	6%
Error de circularidad del revestimiento	2%
Atenuación a 850 nm	Entre 2,7 y 3 dB/km
Atenuación a 1300 nm	Entre 0,7 y 0,8 2 dB/km
Ancho de banda a 850 nm	Entre 300 y 500 MHz
Ancho de banda a 1300 nm	Entre 500 y 1000 MHz

Anexo 3: Características de Fibra Monomodo Estandar

FIBRA MONOMODO ESTANDAR	ITU-T G.652
Longitud onda corte	1,18 a 1,27 µm
Diámetro del campo modal	9,3 (8 a 10) µm (+/- 10%)
Diámetro del revestimiento	125 µm (+/- 3 µm)
Recubrimiento de silicona (Coating)	245 µm (+/- 10 µm). Acrilato curado con UV.
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1µm

Atenuación para 1300 nm	de 0,4 a 1 dB/km
Atenuación para 1550 nm	de 0,25 a 0,5 dB/km
Dispersión cromática 1285-1330 nm	3,5 ps/km.nm
Dispersión cromática 1270-1340 nm	6 ps/km.nm
Dispersión cromática en 1550 nm	20 ps/km.nm

Anexo 4: Características de Fibra Monomodo (Dispersion Shift)

FIBRA MONOMODO <i>DISPERSION SHIFT</i>	ITU-T G.653
Longitud onda corte	1,05 a 1,15 μm
Diámetro del campo modal	8 (7 a 8,3) μm (+/- 10%)
Diámetro del revestimiento	125 μm (+/- 3 μm)
Recubrimiento de silicona (Coating)	245 μm (+/- 10 μm)
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 μm
Atenuación para 1550 nm	inferior a 0,25 a 0,5 dB/Km
Atenuación para 1300 nm	inferior a 1 dB/Km
Dispersión cromática	3,5 ps/km.nm entre 1525-1575 nm

Anexo 5: Características de Fibra Monomodo de Mínima Atenuación

FIBRA MONOMODO DE MINIMA ATENUACIÓN	ITU-T G.654
Diámetro del revestimiento	125 μm (+/- 3 μm)
Error de circularidad del revestimiento	2 %
Error de concentricidad del campo modal	1 μm
Recubrimiento de silicona (Coating)	245 μm (+/- 10 μm)
Atenuación inferior a	0,15 a 0,25 dB/Km a 1550 nm
Dispersión cromática	20 ps/km.nm en 1550 nm

Anexo 6: Características de Fibra Monomodo (Non Zero Dispersion Shift)

FIBRA MONOMODO <i>NON ZERO DISPERSION SHIFT</i>	ITU-T G.655
Diámetro del campo modal	8,4 μm (+/- 0,6 μm). Diámetro núcleo 6 μm .
Diámetro del revestimiento	125 μm (+/- 1 μm)
Longitud de onda de corte	1260 nm
Atenuación	Desde 0,22 a 0,30 dB/Km en 1550 nm
Dispersión cromática	4,6 ps/km.nm en 1550 nm
Zona de dispersión no-nula	Desde 1540 a 1560 nm

Anexo 7: Normas técnicas de la ITU-T

Note to Technical Editors ITU-T Recommendation G.694.2 is the most recent in the series, which specify physical layer attributes of optical interfaces. Other Recommendations in this series include:

ITU-T G.691 (2000) - Optical interfaces for single channel STM-64, STM-256 systems and other SDH systems with optical amplifiers.

ITU-T G.692 (1998) - Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.

ITU-T G.693 (2001) - Optical interfaces for intra-office applications.

ITU-T G.694.1 (2002) - Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.

ITU-T G.957 (1999) - Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.

ITU-T G.959.1 (2001) - Optical transport network physical layer interfaces.

Recommendation G.694.2 provides a grid of wavelengths for target distances up to about 50 km on single mode fibres as specified in Recommendations G.652, G.653 and G.655.

The CWDM grid is made up of 18 wavelengths defined within the range 1270 nm to 1610 nm spaced by 20 nm.

Coarse Wavelength Division Multiplexing, a WDM technology, is characterized by wider channel spacing than Dense WDM. CWDM systems are more cost-effective for metropolitan applications.

The wavelength plan contained in the new ITU-T Recommendation G.694.2 has a 20 nm channel spacing to accommodate lasers that have high spectral width and/or large thermal drift. This wide channel spacing is based on economic considerations related to costs of lasers and filters, which vary with channel spacing. To accommodate multiple channels on each fibre, the agreed wavelength grid covers most of the recently approved bands of the single-mode optical fibre spectrum, from less than 1300 nm to more than 1600 nm.

CWDM systems support transmission distances up to 50 km. Within this distance, CWDM can support various topologies—hubbed rings, point-to-point and Passive Optical Networks. CWDM is well suited for metro applications (e.g. CWDM local rings that connect central offices to major Dense WDM metro express rings) and for access applications (e.g. access rings, PONs).

CWDM systems can be used as an integrated platform for multiple clients, services and protocols for enterprise users. The channels in CWDM can have different bit-rates. CWDM also provides flexibility with regard to traffic demand changes through the ease of adding or dropping channels into or from systems.

CWDM related standardization activities in SG 15 are continuing with work on a draft new Recommendation (G.capp) specifying optical parameters and values for physical layer interfaces in CWDM applications.

ITU-T Rec. G.694.2 has been agreed under the fast-track approval procedure called AAP. Under this procedure, a comment period is initiated when a study group gives consent to approve the draft text of a recommendation which it considers mature. The combined announcement and comment period took just under two months. This standard is therefore expected to become effective before the end of the year if the comment period yields a positive outcome.

Anexo 8: Codificación de Programa BLOCKING_SIM_SCRIPT para Matlab

```
%BLOCKING_SIM_SCRIPT
```

```
% Calcula y grafica el bloque de probabilidades con LINK_SIM_CONV
```

```
% y LINK_SIM_NO_CONV escritos para redes tandem WDM.
```

```
% Autor:
```

```
% Edgar Paul Ramos Fuertes
```



```
clc,close all, clear all;

t0=clock;

%Numero de canales

disp('¿Por favor ingrese el numero de canales?')

C=input(' ');

while C<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    C=input(' ');

end

%Numero de enlaces o links

disp('¿Por favor ingrese el numero de enlaces o nodos?')

L=input(' ');

while L<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    L=input(' ');

end

%Carga Total [Erl] inicialmente 2

disp('¿Por favor ingrese la carga total (Erlang)?')

disp(' Puede ser un numero entero o decimal')
```

```
load=input(' ');

while load<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    load=input(' ');

end

%Numero de generaciones por dominio de tiempo

disp('¿Por favor ingrese el numero de generaciones?')

disp(' Es aconsejable que el numero sea mayor a 1 000 ')

number_generations=input(' ');

while number_generations<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    number_generations=input(' ');

end

disp('Por favor espere... El calculo se esta realizando');

%Bloque de computo

[conve,chn_usg2]=link_sim_conv(C,L,load,number_generations);

[no_conve_ff,chn_usg]=link_sim_no_conv(C,L,load,number_generations,1);

[no_conve_rnd,chn_usg1]=link_sim_no_conv(C,L,load,number_generations,2);
```

```
%Bloque de Graficos
```

```
figure(1);
```

```
hold on;
```

```
plot(conve,'r-d');
```

```
grid on;
```

```
title('Calculo de probabilidades sin trafico sobre caminos WDM');
```

```
legend('Con Conversion',4);
```

```
xlabel('Numero de enlaces o nodos');
```

```
ylabel('Probabilidad de Bloqueo [%]');
```

```
figure(2);
```

```
hold on;
```

```
plot(no_conve_ff,'g-*');
```

```
grid on;
```

```
title('Calculo de probabilidades sin trafico sobre caminos WDM');
```

```
legend('Sin conversion: "Primer Ajuste"',4);
```

```
xlabel('Numero de enlaces o nodos');
```

```
ylabel('Probabilidad de Bloqueo [%]');
```

```
figure(3);
```

```
hold on;
```

```
plot(no_conve_rnd,'b-o');

grid on;

title('Calculo de probabilidades sin trafico sobre caminos WDM');

legend('Sin conversion: Randomico',4);

xlabel('Numero de enlaces o nodos');

ylabel('Probabilidad de Bloqueo [%]');

figure(4);

hold on;

plot(conve,'r-d');

plot(no_conve_ff,'g-*');

plot(no_conve_rnd,'b-o');

grid on;

title('Calculo de probabilidades sin trafico sobre caminos WDM');

legend('Con Conversion','Sin conversion: "Primer Ajuste"', 'Sin conversion: Randomico',4);

xlabel('Numero de enlaces o nodos');

ylabel('Probabilidad de Bloqueo [%]');

%Grafico de canal usado

figure(5);

stem(chn_usg{1});
```

```
grid on;

title('Canales utilizados Sin convercion: Primer Ajuste');

xlabel('Numero de canales');

ylabel('Tiempo de uso [seg]');

figure(6);

stem(chn_usg1{1});

grid on;

title('Canales utilizados Sin Conversion: Randomico');

xlabel('Numero de canales');

ylabel('Tiempo de uso [seg]');

figure(7);

stem(chn_usg2{1});

grid on;

title('Canales utilizados Con Conversion');

xlabel('Numero de canales');

ylabel('Tiempo de uso [seg]');

%Muestra el tiempo de operacion del programa

operation_time=etime(clock,t0)/60;

disp(sprintf('Tiempo de operacion: %g min',operation_time));
```

Anexo 9: Codificación de Programa LINK_SIM_CONV para Matlab

```
%LINK_SIM_CONV
```

```
function varargout=link_sim_conv(varargin)
```

```
%LINK_SIM_CONV Bloque de simulacion en circuitos de control de redes tandem.
```

```
% [BLOCKING]=LINK_SIM_CONV(C,L,LOAD,NB_GEN) bloque de simulacion en redes
```

```
% tandem, donde C es el numero de canales, L es el numero de enlaces
```

```
% entre la fuente y el destino, LOAD es la carga generada en Erlangs sobre
```

```
% cada enlace y NB_GEN es el numero de interacciones en la simulacion [1].
```

```
% BLOCKING es el vector resultado de la simulacion, donde BLOCKING(i) es el
```

```
% valor de la probabilidad de bloqueo simulada entre el primer nodo y el nodo i.
```

```
% Es aconsejable colocar un valor alto de NB_GEN para obtener un optimo resultado.
```

```
% por ejm: 3 000
```

```
% Referencia:
```

```
% [1] Milan Kovaceviæ, Anthony Acampora, "Benefits of Wavelength
```

```
% translation in All-Optical Clear Channel Networks", IEEE Journal on
```

```
% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996
```

```
% Autor:
```

```
% Edgar Paul Ramos Fuertes
```

```
%Excepciones en el programa
```

```
message=nargchk(4,4,nargin);
```

```
testing_int=[varargin{1},varargin{2},varargin{3},varargin{4}];%,varargin{5}];
```

```
if ~isempty(message)
```

```
    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Exceso en el Numero de Argumentos de  
Entrada',...
```

```
        message);
```

```
end
```

```
if find(isnan(testing_int))
```

```
    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Tipo de Argumento',...
```

```
        'Los Argumentos deben ser Numeros');
```

```
end
```

```
%Chequea si VARARGIN son enteros positivos
```

```
if sum([testing_int(1:2)<0,fix(testing_int(1:2))-testing_int(1:2)])~=0
```

```
    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Tipo de Argumento',...
```

```
        'Los Argumentos deben ser Numeros Positivos');
```

```
end
```

```
C=varargin{1};           %Numero de canales
```

```
L=varargin{2};           %Numero de enlaces
```

```
load=varargin{3};        %Carga total [Erl]
```

```
number_generations=varargin{4};      %Numero de generaciones por dominio de tiempo
```

```
disp(' Por favor eliga el canal a ser utilizado en el metodo:');

disp(' "Con Conversion");

disp(' 1.- Primer canal');

disp(' 2.- Canal de la mitad');

disp(' 3.- Canal final');

Can=input(' ');

while Can<=0||Can>3

    disp(' El numero debe ser 1,2 o 3')

    Can=input(' ');

end

disp('Por favor espere... El calculo se esta realizando');

for link=1:L

    %Reservacion de espacio de Memoria

    number_blocked_temp=0;

    number_blocked=0;

    number_connections(1:link)=0;

    %Espacio de Memoria Reservado para vector de conexion por cada enlace

    for t=1:link

        connections_vector{t}(1:C)=0;
```



```
        case 3

            %Reserva el canal final

            place=length(check_free{t});

        end

        prop_place{t}(check_free{t}(place))=prop_place{t}(check_free{t}(place))+1;

    end

%Bloque de chequeo

if length(connections_vector{t})==C

    %Si todos los canales estan ocupados entonces es bloqueado

    number_blocked_temp=number_blocked_temp+1;

else

    %Caso contrario, se asigna un nuevo canal para una nueva conexion

    connections_vector{t}=[connections_vector{t},holding_time(t)];

end

%Decremento en el dominio de tiempo

for w=1:length(connections_vector{t})

    if connections_vector{t}(w)-untill_next(t)>0

        connections_vector{t}(w)=connections_vector{t}(w)-untill_next(t);

    else
```

```
        connections_vector{t}(w)=0;

    end

end

%Remueve todos los elementos ceros para obtener un canal libre

connections_vector{t}=nonzeros(connections_vector{t}');

end

%Actualiza el numero de llamadas bloqueadas

%number_blocked_temp, necesarias para cada interaccion con mas enlaces

if number_blocked_temp~=0

    number_blocked=number_blocked+1;

end

%borra los datos de number_blocked_temp

number_blocked_temp=0;

end

%Porcentaje de bloqueo para cada nodo

blocked(link)=number_blocked/number_generations*100;

end

varargout{1}=blocked;

varargout{2}=prop_place;
```

Anexo 10: Codificación de Programa LINK_SIM_NO_CONV para Matlab

```
%LINK_SIM_NO_CONV
```

```
function varargout=link_sim_no_conv(varargin)
```

```
%LINK_SIM_NO_CONV Bloque de Simulacion en longitudes enrutadas con redes tandem.
```

```
% [BLOCKING,USAGE]=LINK_SIM_CONV(C,L,LOAD,NB_GEN,METHOD) bloque de
```

```
% simulacion en redes tandem, donde C es el numero de canales, L es el
```

```
% numero de enlaces entre la fuente y el destino, LOAD es la carga en
```

```
% Erlangs generada sobre cada enlace, NB_GEN es el numero de interacciones
```

```
% para la simulacion y METHOD es el tipo de longitud de onda asignada:
```

```
% 1 - Primer Ajuste, 2 - Randomico [1].
```

```
% BLOCKING es el vector resultante de la simulacion, donde BLOCKING(i) es
```

```
% el valor de la probabilidad de bloque simulada entre el primer nodo y
```

```
% el nodo i.
```

```
% USAGE es el vector que indica cuanto tiempo disponible tiene el canal,
```

```
% para usar un nodo. En otra palabras USAGE{i}(j) indica que cantidad de tiempo
```

```
% tiene el canal j para usar el nodo i.
```

```
% Es aconsejable colocar un valor alto de NB_GEN para obtener un optimo resultado.
```

```
% por ejm: 3 000
```

```
% Referencia:
```

```
% [1] Milan Kovaceviæ, Anthony Acampora, "Benefits of Wavelength
% translation in All-Optical Clear Channel Networks", IEEE Journal on
% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996

% Autor:

% Edgar Paul Ramos Fuertes

%Excepciones en el programa

message=nargchk(5,5,nargin);

testing_int=[varargin{1},varargin{2},varargin{3},varargin{4},varargin{5}];

if ~isempty(message)

    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Exceso en el Numero de Argumentos de
Entrada',...

        message);

end

if find(isnan(testing_int))

    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Tipo de Argumento',...

        'Los Argumentos deben ser Numeros');

end

%Chequea si VARARGIN son enteros positivos

if sum([testing_int(1:2)<0,fix(testing_int(1:2))-testing_int(1:2)])~=0

    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Tipo de Argumento',...
```

```
'Los Argumentos deben ser Numeros Positivos');

end

%Chequea si METHOD esta bien escogido

if testing_int(5)~=1 & testing_int(5)~=2

    error('MATLAB:CREACION DE RED RANDOMICA: Tipo de Argumento',...

        'El Metodo debe ser 1 o 2');

end

C=varargin{1};          %Numero de canales

L=varargin{2};          %Numero de enlaces

load=varargin{3};       %Carga total [Erl]

number_generations=varargin{4};    %Numero de generaciones por dominio de tiempo

method=varargin{5};

% Se escoge el canal a utilizarce

if method==1

    disp('    Por favor eliga el canal a ser utilizado en el metodo:');

    disp('    "Sin Conversion");

    disp('    1.- Primer canal');

    disp('    2.- Canal de la mitad');

    disp('    3.- Canal final');
```

```
Can=input(' ');

while Can<=0||Can>3

    disp(' El numero debe ser 1,2 o 3')

    Can=input(' ');

end

end

disp('Por favor espere... El calculo se esta realizando');

for link=1:L;

    %Reservacion de espacio de Memoria

    state=[];          %Vector de estado

    number_blocked=0;    %Numero de conexiones bloqueadas

    for t=1:link

        connections_vector{t}(1:C)=0;    %Tiempo de duracion de las conexiones

        prop_place{t}(1:C)=0;          %Tiempo de uso del canal

    end

    %Cantidad de tiempo para la realizacion de la Simulacion

    for g=1:number_generations

        for t=1:link

            %Distribucion uniforme para todos los enlaces en tandem
```

```
%(con los parametros indicados)

%%Distribucion exponencial de tiempo hasta el ingreso de la proxima llamada

untill_next(t)=-log(1-rand)/load;

%Formula de Poisson

%Distribucion exponencial en el dominio de tiempo

holding_time(t)=-log(1-rand);

%Encuentra el canal que esta libre

check_free{t}=find(connections_vector{t}==0);

if length(check_free{t})~=0

    %Metodo 1 - Primer Ajuste

    if method==1

        switch Can

            case 1

                % Reserva el primer canal

                place=1;

            case 2

                %Reserva el canal medio

                place=ceil(length(check_free{t})/2);

            case 3
```



```
        %Reserva el canal final

        place=length(check_free{t});

    end

else

    %Metodo 2 - Randomico

    %Reserva el canal en forma randomica

    place=ceil(rand*length(check_free{t}));

    end

    prop_place{t}(check_free{t}(place))=prop_place{t}(check_free{t}(place))+1;

    connections_vector{t}(check_free{t}(place))=holding_time(t);

end

%Decremento en el dominio del tiempo para todos los canales ocupados

find_non_free{t}=find(connections_vector{t});

for w=find_non_free{t}

    if connections_vector{t}(w)-untill_next(t)>0

        connections_vector{t}(w)=connections_vector{t}(w)-untill_next(t);

    else

        connections_vector{t}(w)=0;

    end

end
```

```
end
```

```
%Se genera una matriz de conexiones para cheque de los canales libres sobre
```

```
%todos los enlaces (restriccion en longitudes de onda continuas)
```

```
state=[state;connections_vector{t}];
```

```
end
```

```
%Chequeo de restriccion para longitudes de onda continuas
```

```
free_channel=0;          %Bandera para indicar canales libres
```

```
for c=1:C
```

```
if isempty(find(state(:,c)~=0))==1
```

```
    % No se realiza el chequeo de todos los canales, solo de
```

```
    % los indicados en la matriz de conexiones
```

```
    free_channel=free_channel+1;
```

```
    break;
```

```
end
```

```
end
```

```
%Se chequea si estos son canales libres
```

```
if free_channel==0
```

```
    number_blocked=number_blocked+1;
```

```
end;
```

```
%Se borra las variables

free_channel=0;

state=[];

end

%Porcentaje de bloqueo para cada nodo

blocked(link)=number_blocked/number_generations*100;

end

varargout{1}=blocked;

varargout{2}=prop_place;
```

Anexo 11: Codificación de Programa BLOCKING_ANL_SCRIPT para Matlab

```
%BLOCKING_ANL_SCRIPT
```

```
%BLOCKING_ANL_SCRIPT Calcula y grafica el bloque de probabilidades con: P_L
```

```
% escritos para redes tandem WDM.
```

```
% Autor:
```

```
% Edgar Paul Ramos Fuertes
```

```
clc,close all, clear all;
```

```
t0=clock;
```

```
%Numero de canales
```

```
disp('¿Por favor ingrese el numero de canales?')
```

```
C=input(' ');

while C<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    C=input(' ');

end

%Numero de enlaces o links

disp('¿Por favor ingrese el numero de enlaces o nodos?')

number_links=input(' ');

while number_links<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    number_links=input(' ');

end

%Carga Total sobre los enlaces [Erl] decimal

disp('¿Por favor ingrese la carga total (Erlang)?')

disp(' Puede ser un numero entero o decimal')

L(1:number_links)=input(' ');

while L(1:number_links)<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    L(1:number_links)=input("");
```

```
end

%TIPO DE METODO A USARCE

disp('¿Por favor digite el metodo a utilizarse?')

disp(' 1.- Sin Conversion')

disp(' 2.- Conversion Completa')

disp(' 3.- Conversion Limita')

method=input(' ');

while method<=0||method>3

    disp(' El numero debe ser mayor a 0 y menor a 3')

    method=input(' ');

end

if method==3

    %Grado de conversion (valido unicamente cuando method==3)    1 hasta 3

    disp('¿Por favor ingrese el grado de conversion?')

    disp(' 1.- Primer Orden')

    disp(' 2.- Segundo Orden')

    disp(' 3.- Tercer Orden')

    D=input(' ');

    while D<=0||D>3
```

```
disp(' El numero debe ser mayor a 0 y menor a 3')

D=input(' ');

end

else

D=1;

end

disp('Por favor espere... El calculo se esta realizando');

for k=1:number_links

p_l_noconv(k)=p_l(L(1:k),C,C,D,1);

p_l_conv(k)=p_l(L(1:k),C,C,D,2);

p_l_limit(k)=p_l(L(1:k),C,C,D,3);

end

%Bloque de Grafico

figure(1);

hold on;

plot(p_l_noconv,'r-d');

grid on;

legend('Sin conversion',2);

title('Calculo de probabilidades con trafico sobre caminos WDM');
```

```
xlabel('Numero de nodos');

ylabel('Probabilidad de Bloqueo');

figure(2);

hold on;

plot(p_l_conv, 'g-*');

grid on;

legend('Conversion completa',2);

title('Calculo de probabilidades con trafico sobre caminos WDM');

xlabel('Numero de nodos');

ylabel('Probabilidad de Bloqueo');

figure(3);

hold on;

plot(p_l_limit, 'b-o');

grid on;

legend(['Conversion limitada, D=',int2str(D)],2);

title('Calculo de probabilidades con trafico sobre caminos WDM');

xlabel('Numero de nodos');

ylabel('Probabilidad de Bloqueo');

figure(4);
```

```
hold on;

plot(p_l_noconv,'r-d');

plot(p_l_conv,'g-*');

plot(p_l_limit,'b-o');

grid on;

legend('Sin conversion','Conversion completa',['Conversion limitada, D=',int2str(D)],2);

title('Calculo de probabilidades con trafico sobre caminos WDM');

xlabel('Numero de nodos');

ylabel('Probabilidad de Bloqueo');

%Muestra el tiempo de operacion del programa

operation_time=etime(clock,t0)/60;

disp(sprintf('Tiempo de Operacion: %g min',operation_time));
```

Anexo 12: Codificación de Programa P_L para Matlab

```
%P_L
```

```
function varargout=p_l(varargin)
```

```
%P_L Calcula la distribucion que "Ocupa" la longitud de onda sobre un salto de camino n.
```

```
% P_L sobre un enlace fijo conectado en tandem es calculado de acuerdo a
```

```
% [1] Sin conversion y con conversion completa, [2] y [3] Conversion limitada.
```

```
% [PROB]=P_L(L,C,K,D,METHOD) bloque de computo guardado en PROB, donde L es
```


% el vector de llegada (carga) sobre cada enlace en tandem, C es el

% numero de canales para las longitudes de onda, D es el grado de

% conversion de las longitudes de onda (si se escoge esta opcion),

% K es el numero de longitudes de onda ocupadas y METHOD es el tipo de

% conversion donde:

% 1.- Sin conversion,

% 2.- Conversion completa,

% 3.- Conversion limitada.

% Cuando METHOD es diferente a 3 puede D estar vacia (D puede ser omitida

% durante los calculos).

% Referencia:

% [1] Milan Kovaceviæ, Anthony Acampora, "Benefits of Wavelength

% translation in All-Optical Clear Channel Networks", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996

% [2] Tushar Tripathi, Kumar N. Sivarajan, "Computing Approximate

% Blocking Probabilities in Wavelength Routed All_optical Networks

% with Limited-Range Wavelength Conversion", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 18, October 2000

% [3] Przemyslaw Pawelczak, "Traffic Engineering in All-Optical

```
% Networks", M.Sc. thesis, Wroclaw University of Technology, Poland
```

```
% Autor:
```

```
% Edgar Paul Ramos Fuertes
```

```
if nargin==4
```

```
    varargin{5}=varargin{4};
```

```
    varargin{4}=1;    %VALOR DE D
```

```
end
```

```
%Excepciones en el programa
```

```
message=nargchk(4,5,nargin);
```

```
testing_int=[varargin{2},varargin{3},varargin{4},varargin{5}];
```

```
if ~isempty(message)
```

```
    error('MATLAB:P_M:Exceso en el Numero de Argumentos de Entrada',...
```

```
        message);
```

```
end
```

```
if find(isnan(testing_int))
```

```
    error('MATLAB:P_M:Tipo de Argumento',...
```

```
        'Los Argumentos deben ser Numeros');
```

```
end
```

```
%Chequea si VARARGIN son enteros positivos
```

```
if sum([testing_int<0,fix(testing_int)~=testing_int,testing_int(3)>3])~=0
```

```
    error('MATLAB:P_M:Tipo de Argumentos',...
```

```
        'Error en el tipo de Argumentos');
```

```
end
```

```
%Cambia la cadena a numero (por todo el numero de argumentos)
```

```
for k=1:4
```

```
    if isstr(varargin{k})==1
```

```
        varargin{k}=str2num(varargin{k});
```

```
    end
```

```
end
```

```
%Se da nombres a los argumentos enteros
```

```
L=varargin{1};
```

```
C=varargin{2};
```

```
K=varargin{3};
```

```
D=varargin{4};
```

```
Method=varargin{5};
```

```
%Dos posibilidades
```

```
if length(L)==1
```

```
    %Se realiza el uso de la Funcion ERLANG_B
```

```
varargout{1}=erlang_b(L,C,C);

else

%implementacion de (2), (3) y (4) por [1]:

%  $q_k(n)=\sum_{i=0,W} \sum_{j=0,W} R(W-k|W-i,W-j)*q_k(n-1)*p_j(n)$ 

q=[];

p=[];

for i=0:C

    %Se realiza el uso de la Funcion ERLANG_B

    q=[q,erlang_b(L(1),C,i)];

end

for l=2:length(L)

    p=[];

    q_former=[];

    for j=0:C

        %Se realiza el uso de la Funcion ERLANG_B

        p=[p,erlang_b(L(l),C,j)];

    end

    for k=0:K

        q_k=[];
```

```
    for i=0:C

        for j=0:C

            %Se realiza el uso de funcion P_M

            q_k=[q_k,p_m(C-k,[C-i,C-j],C,D,Method)*q(i+1)*p(j+1)];

        end

    end

    q_former=[q_former,sum(q_k)];

end

q=q_former;

end

varargout{1}=q(length(q));

end
```

Anexo 13: Codificación de Programa P_M para Matlab

%P_M

```
function varargout=p_m(varargin)
```

%P_M Calcula la probabilidad de resultado de M canales libres sobre un

%camino con o sin C canales de conversion.

% P_M calcula la probabilidad de acuerdo a [1] y [2] Sin Conversion,

% [3] Conversion escasa y [4] Conversion Completa.

```
% [PROB]=P_M(N,X,C,D,METHOD) Calcula el estado de probabilidad en cuatro
% casos para redes WDM. X es el vector de canales libres sobre todos los
% enlaces considerados, N es el valor espectante de canales libres con
% similar cantidad de enlaces considerados, D es el grado de conversion,
% C es el numero de canales sobre cada enlace y METHODOD es el tipo de
% conversion, donde:
% 1.- Sin conversion,
% 2.- Conversion completa,
% 3.- Conversion escasa.
% Cuando METHODOD es diferente a 3 puede D estar vacia (D puede ser omitida
% durante los calculos).
% Referencia:
% [1] Milan Kovaceviæ, Anthony Acampora, "Benefits of Wavelength
% translation in All-Optical Clear Channel Networks", IEEE Journal on
% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996
% [2] Alexander Birman, "Computing Approximate Blocking Probabilities
% for a Class of All-Optical Network", IEEE Journal on
% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996
% [3] Tushar Tripathi, Kumar N. Sivarajan, "Computing Approximate
```

```
%   Blocking Probabilities in Wavelength Routed All_optical Networks

%   with Limited-Range Wavelength Conversion", IEEE Journal on

%   Selected Areas in Communications, vol. 18, October 2000

%   [4] S. Chung, A. Kashper, K.W. Ross, "Computing Approximate

%   Blocking Probabilities for large loss networks", IEEE/ACM

%   Transactions on Networking, vol. 1, 1993

%   Autor:

%       Edgar Paul Ramos Fuertes

if nargin==4

    varargin{5}=varargin{4};

    varargin{4}=1; %VALOR DE D

end

%Excepciones en el programa

message=nargchk(4,5,nargin);

testing_int=[varargin{1},varargin{2},varargin{3},varargin{4},varargin{5}];

if ~isempty(message)

    error('MATLAB:P_M:Exceso en el Numero de Argumentos de Entrada',...

        message);

end
```

```
if find(isnan(testing_int))

    error('MATLAB:P_M:Tipo de Argumento',...

        'Los Argumentos deben ser Numeros');

end

%Chequea si VARARGIN son enteros positivos

if sum([testing_int<0,fix(testing_int)~=testing_int])~=0

    error('MATLAB:P_M:Tipo de Argumentos',...

        'Los Argumentos deben ser Enteros Positivos');

end

end

%Se cambia la cadena a numero (por todo el numero de argumentos)

for k=1:5

    if isstr(varargin{k})==1

        varargin{k}=str2num(varargin{k});

    end

end

end

%Se da nombres a los argumentos enteros

N=varargin{1};

X=varargin{2};

C=varargin{3};
```



```
D=varargin{4};

Method=varargin{5};

%Tipo de Metodo

switch Method

    %Sin conversion

    case 1

        %Caso basico - dos enlaces

        if length(X)==2

            varargout{1}=beta_2(N,X(1),X(2),C);

            %Si es mayor a dos enlaces

        else

            %Recurso vectorial de probabilidades

            P_former=[];

            for k=N:X(2)

                P_former=[P_former,beta_2(k,X(1),X(2),C)];

            end

            %Calculo de acuerdo a (4) en [2]

            position=2;

            P=[];
```

```
P_former_temp=[];

while position~=length(X)

    for N_prim=N:X(position)

        for k=N:X(position)

            P=[P,beta_1(N_prim,k,X(position+1),C,D)...

                *P_former(length(P)+1)];

        end

        P_former_temp=[P_former_temp,sum(P)];

        P=[];

    end

    P_former=P_former_temp;

    position=position+1;

end

varargout{1}=P_former(1);

end

%Conversion completa
```

case 2

%Si sobre el numero total de saltos para canales libre se da que

%>=N y si justo un canal puede tener N canales libres, la probabilidad

```
% puede ser de 1

if find(X==N)>=1 & length(find(X>=N))==length(X)

    varargout{1}=1;

else

    varargout{1}=0;

end

%Conversion escasa

case 3

    %Caso basico - dos enlaces

    if length(X)==2

        varargout{1}=beta_1(N,X(1),X(2),C,D);

        %Si es mayor a dos enlaces

    else

        %Recurso vectorial de probabilidades

        P_former=[];

        for k=N:X(2)

            P_former=[P_former,beta_1(k,X(1),X(2),C,D)];

        end

        %Calculo de acuerdo a (10) en [3]
```

```
position=2;

P=[];

P_former_temp=[];

while position~=length(X)

    for N_prim=N:X(position)

        for k=N:X(position)

            P=[P,beta_1(N_prim,k,X(position+1),C,D)...

                *P_former(length(P)+1)];

        end

        P_former_temp=[P_former_temp,sum(P)];

        P=[];

    end

    P_former=P_former_temp;

    position=position+1;

end

varargout{1}=P_former(1);

end

end

%Implementacion de (3) de la forma [3] - Conversion esparcida
```

```
function [p_m_sparse]=beta_1(N,X,Y,C,D);

%Reservacion de memoria para el vector p_m_sparse

p_m_sparse=[];

%Si Y>X entonces cambia el lugar, solo como se indica en [3]: "Se puede

%reestructurar los enlaces tal que los enlaces del camino tengan longitudes

%de onda libres en orden de incremento y se pueda usar (3) para calcular p_m(x,y)"

if Y>X

    A=X;

    X=Y;

    Y=A;

end

%Calculo de la suma del margen inferior en (3)

sum_down=min(C,X+2*D);

%Calculo de la suma del margen superior en (3)

sum_up=min(C,(2*D+1)*X);

%Calculo del margen derecho de (3)

p_gamma=[];

for l=sum_down:sum_up

    %Si se cumple la condicion se realiza el calculo binomial
```

```
if (l-2*D)>=X
```

```
    %Calculo de acuerdo a (9)
```

```
    p_gamma=[p_gamma,nchoosek(C,1)*nchoosek(l-2*D,X)/nchoosek(C,X)];
```

```
    %Si no es posible se realiza lo siguiente
```

```
else
```

```
    p_gamma=[p_gamma,0];
```

```
end
```

```
end
```

```
%Remueve el anterior elemento para p_g
```

```
if length(p_gamma)~=0
```

```
    p_gamma(length(p_gamma))=[];
```

```
end
```

```
%Calculo de acuerdo a (5)
```

```
%Mirar las notas en [3]
```

```
p_gamma_left=[p_gamma,1];
```

```
p_gamma_right=[0,p_gamma];
```

```
p_gamma=p_gamma_left-p_gamma_right;
```

```
%Calculo del margen izquierdo de (3)
```

```
for l=sum_down:sum_up
```

%Si se cumple la condicion se realiza lo siguiente

%se chequea las exepciones, mirar notas en [3]

if (C-I)>=(Y-N) & I>=N & Y>=N

p_m_sparse=[p_m_sparse,nchoosek(I,N)*nchoosek(C-I,Y-N)/nchoosek(C,Y)];

%si esto no es posible para el calculo se asigna ceros

else

p_m_sparse=[p_m_sparse,0];

end

end

%Se multiplica la parte izquierda por la derecha y se asigna a R

p_m_sparse=sum(p_m_sparse.*p_gamma);

%Implementacion de (2) en la forma [1] - Sin conversion

function [p_m_sparse]=beta_2(N,X,Y,C);

if max(0,X+Y-C)<=N & min(X,Y)>=N

p_m_sparse=(nchoosek(X,N)*nchoosek(C-X,Y-N))/nchoosek(C,Y);

else

p_m_sparse=0;

end

%Otra implementacion de la ecuacion (3) en la forma [2] - Sin conversion

```
%if max(0,X+Y-C)<=N & min(X,Y)>=N

%  i=1:N;

%  left=prod((X-i+1)./(C-i+1));

%  i=1:(Y-N);

%  right=prod((C-X-i+1)./(C-N-i+1));

%  p_m_sparse=nchoosek(Y,N)*left*right;

%else

%  p_m_sparse=0;

%end
```

Anexo 14: Codificación de Programa RLA_SCRIPT para Matlab

%RLA_SCRIPT

%RLA_SCRIPT Calcula y bloquea el uso de la red, reduciendo la carga

%realizando una aproximacion en la red WDM.

% Autor:

% Edgar Paul Ramos Fuertes

clc, close all, clear all;

t0=clock;

%VARIABLES

%Nombre del analisis de red


```
disp('¿Por favor indique el tipo de red a analizar?')
```

```
disp(' 1.-Anillo')
```

```
disp(' 2.-Malla')
```

```
disp(' 3.-Randomica')
```

```
red=input(' ');
```

```
while red<1||red>3
```

```
    disp(' Realice la eleccion entre las 3 redes')
```

```
    red=input(' ');
```

```
end
```

```
%Se escoge asigna la red seleccionada
```

```
switch red
```

```
    case 1
```

```
        name='ring';
```

```
    case 2
```

```
        name='mesh';
```

```
    case 3
```

```
        name='random';
```

```
end
```

```
%Numero de canales
```

```
disp('¿Por favor ingrese el numero de canales?')

C=input(' ');

while C<=0

    disp(' El numero debe ser mayor a 0')

    C=input(' ');

end

%Numero de la definicion de trafico en la carpeta name.mat

disp('¿Por favor ingrese el grado de trafico?')

disp(' 1.- Poco')

disp(' 2.- Medio')

disp(' 3.- Elevado')

disp(' 4.- Bastante')

number0=input(' ');

while number0<1||number0>4

    disp(' Realice una eleccion entre los numeros especificados')

    number0=input(' ');

end

number=number0+3;

%Valor de incremento
```

```
disp('¿Por favor ingrese el valor de incremento o Epsilon?')
```

```
disp(' Por ejemplo: 0.01')
```

```
epsilon=input(' ');
```

```
while epsilon<=0
```

```
    disp(' El numero debe ser mayor a 0')
```

```
    epsilon=input(' ');
```

```
end
```

```
%TIPO DE METODO A USARCE
```

```
disp('¿Por favor digite el metodo a utilizarse?')
```

```
disp(' 1.- Sin Conversion')
```

```
disp(' 2.- Conversion Completa')
```

```
disp(' 3.- Conversion Limita')
```

```
method=input(' ');
```

```
while method<=0||method>3
```

```
    disp(' El numero debe ser mayor a 0 y menor a 3')
```

```
    method=input(' ');
```

```
end
```

```
if method==3
```

```
    %Grado de conversion (valido unicamente cuando method==3)    1 hasta 3
```

```
disp('¿Por favor ingrese el grado de conversion?')

disp(' 1.- Primer Orden')

disp(' 2.- Segundo Orden')

disp(' 3.- Tercer Orden')

D=input(' ');

while D<=0||D>3

    disp(' El numero debe ser mayor a 0 y menor a 3')

    D=input(' ');

end

else

    D=1;

end

%Bloque de calculo

disp('Por favor espere... El calculo se esta realizando');

blocking_kovacevic=compute_blocking_kovacevic(name,number,epsilon,method,D,C);

blocking_birman=compute_blocking_birman(name,number,epsilon,method,D,C);

%Toma el vector final para bloquear la estructura

blocking_kovacevic=struct2cell(blocking_kovacevic);

blocking_kovacevic_length=length(cellfun('ndims',blocking_kovacevic));
```

```
disp(' VECTOR DE BLOQUEO EN LA ESTRUCTURA: METODO KOVACEVIC')

blocking_kovacevic=cell2mat(blocking_kovacevic(blocking_kovacevic_length))

blocking_birman=struct2cell(blocking_birman);

blocking_birman_length=length(cellfun('ndims',blocking_birman));

disp(' VECTOR DE BLOQUEO EN LA ESTRUCTURA: METODO BIRMAN')

blocking_birman=cell2mat(blocking_birman(blocking_birman_length))

%Se envia datos a graficar

figure(1);

plot(blocking_kovacevic,'r-*');

title(['ALGORITMO DE KOVACEVIC ',upper(name)]);

xlabel('Transmision de datos [THz]');

ylabel('Eficiencia de la red [%]');

figure(2);

plot(blocking_birman,'b-o');

title(['ALGORITMO DE BIRMAN ',upper(name)]);

xlabel('Transmision de datos [THz]');

ylabel('Eficiencia de la red [%]');

%Muestra el tiempo de operacion del programa

operation_time=etime(clock,t0)/60;
```

```
disp(sprintf('Tiempo de Operacion: %g min',operation_time));
```

Anexo 15: Codificación de Programa COMPUTE_BLOCKING_KOVACEVIC para Matlab

%COMPUTE_BLOCKING_KOVACEVIC

```
function varargout=compute_blocking_kovacevic(varargin)
```

```
%COMPUTE_BLOCKING_KOVACEVIC Bloque que realiza el calculo de probabilidad
```

```
%en un circuito de control de la red usada, reduce la generacion de
```

```
%aproximaciones mediante las simplificaciones de Kovacevic y Acampora [5].
```

```
 %[BLOCKING]=COMPUTE_BLOCKING_KOVACEVIC(NAME,NUMBER,EPSILON,METHOD,D  
,C)
```

```
% es una funcion que calcula la probabilidad de bloqueo usando una
```

```
% generacion para reducir la carga mediante metodos de aproximacion (RLA)
```

```
% primero introducido por Kelly [4], extendido por Chung, e implementado
```

```
% por Birman en redes WDM [1](longitudes de onda completas y sin
```

```
% conversion) y Tripathi [2](Conversion escasa de longitudes de onda)[5].
```

```
% Debido a que el normal RLA requiere  $O(C)$  operaciones para los casos de
```

```
% circuitos de control, y  $O(C^{n+1})$  operaciones para casos de longitudes
```

```
% de onda enrutadas donde la extension de los caminos es 2, este es el
```

```
% valor para el uso del modelo simple puede no ser preciso en las
```

```
% soluciones pero puede ser mucho mas rapido que el normal RLA.
```

```
% NAME es una cadena que contiene el nombre de la red analizada guardando
```

% en el directorio MATLABROOT/networks, NUMBER es el numero de

% dimensiones en la estructura TRAFFIC. Esto significa que para el

% analisis TRAFFIC{:, :, NUMBER} seran los escogidos.

% METHOD es el tipo de conversion y D es el grado de conversion escasa.

% EPSILON es un valor de incremento que viene a ser usado. Para de talles

% se puede observar en [1],[2].

% C es el numero de canales que se va a evaluar en el bloque.

% Referencia:

% [1] Alexander Birman, "Computing Approximate Blocking Probabilities

% for a Class of All-Optical Network", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996

% [2] Tushar Tripathi, Kumar N. Sivarajan, "Computing Approximate

% Blocking Probabilities in Wavelength Routed All_optical Networks

% with Limited-Range Wavelength Conversion", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 18, October 2000

% [3] S. Chung, A. Kashper, K.W. Ross, "Computing Approximate

% Blocking Propabilities for large loss networks", IEEE/ACM

% Transactions on Networking, vol. 1, 1993

% [4] F.P. Kelly, "Routing and capcity allocation in networks with

% trunk reservation", Mathematics of Operation Research, vol. 15, no.

% 4, 1990

% [5] Milan Kovaceviæ, Anthony Acampora, "Benefits of Wavelength

% translation in All-Optical Clear Channel Networks", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996

% Autor:

% Edgar Paul Ramos Fuertes

%Excepciones en el programa

message=nargchk(6,6,nargin);

if ~isempty(message)

error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR KOVACEVIC: Exceso en el Numero de Argumentos de Entrada',...

message);

end

testing_int=[varargin{2},varargin{3},varargin{4},varargin{5},varargin{6}];

if find(isnan(testing_int))

error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR KOVACEVIC:Tipo de Argumento',...

'Los Argumentos deben ser Numeros');

end

%Chequea si VARARGIN son enteros positivos


```
if sum([testing_int<0,...

    fix([testing_int(1),testing_int(3:5)])~=...

    [testing_int(1),testing_int(3:5)])~=0

error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR KOVACEVIC:Tipo de Argumento',...

'Error en el tipo de argumentos');

end

if ~isstr(varargin{1})

error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR KOVACEVIC:Tipo de Argumento',...

'Los argumentos deben ser cadenas de caracteres');

end

end

%Cambia la cadena a numero (por todo el numero de argumentos)

for k=2:5

if isstr(varargin{k})==1

varargin{2}=str2num(varargin{2});

end

end

end

%Lista completa '*.mat' carpeta en directorio de trabajo actual

%Cambia de directorio a MATLABROOT\networks, catalogo que debe existir

cd([matlabroot,['\work\networks']]);
```

```
directory=what;

directory=struct2cell(directory);

directory=cellstr(directory{3});

%Chequea si la carpeta especificada '*.mat' ya existente

if find(strcmp(directory,[varargin{1},'.mat'])==1

    %Carga la carpeta *.MAT

    load(varargin{1});

    fields_vector=[exist('description'),exist('structure'),exist('traffic')];

    if length(find(fields_vector))~=3

        error('BLOQUE DE COMPUTO POR KOVACEVIC: Incorrecto el nombre de las
carpetas',...

            'Erroneos los Nombres de las carpetas');

    end

    %Chequea si BLOCKING esta definida y existe en esta carpeta

    %Inicializa las banderas

    blocking_exists=0;

    varias=who;

    varias_dimension=cellfun('ndims',varias);

    varias_dimension=length(varias_dimension);

    %Chequeo
```

```
for k=1:varias_dimension

    if isequal(cell2mat(varias(k)),'blocking')

        blocking_exists=1;

    end

end

%Si la definicion existe, se agrega otra

if blocking_exists==1

    %Chequea las dimensiones asignadas a BLOCKING

    blocking_dimension=cellfun('ndims',blocking);

    blocking_dimension=length(blocking_dimension)+1;

    %Se procede a cargar BLOCKING

    blocking=kovacevic(traffic,varargin{2},varargin{3},varargin{4},...

        varargin{5},varargin{6},blocking,blocking_dimension);

    varargout{1}=save_network(description,structure,traffic,blocking,...

        varargin{1});

    %Si la definicion no existe, primero se inicializa

elseif blocking_exists==0;

    blocking{1,1}=[];

    blocking_dimension=1;
```

```
%Se procede a cargar MAKE_LOAD

blocking=kovacevic(traffic,varargin{2},varargin{3},varargin{4},...

    varargin{5},varargin{6},blocking,blocking_dimension);

varargout{1}=save_network(description,structure,traffic,blocking,...

    varargin{1});

end

else

    error('BLOQUE DE COMPUTO POR KOVACEVIC: Mal el nombre de las carpetass',...

        'Nombre de las carpetas erroneos');

end

function [blocking]=kovacevic(traffic,number,epsilon,method,d,C,blocking,blocking_dimension);

%Se chequea cuantas rutas conforman TRAFFIC{:,NUMBER}, se debe

%chequear tambien cuantos nodos existen en TRAFFIC{:,NUMBER}

traffic_dim=cellfun('ndims',traffic);

traffic_length=length(traffic_dim(:,1,1));

route_number=0;

for k=1:traffic_length

    if ~isempty(traffic{k,1,number})

        route_number=route_number+1;

    end

end
```

```
        max_node_number(k)=[max(traffic{k,1,number})];

    end

end

node_number=max(max_node_number);

%Nombre de enlaces en la red con sus numeros

nodes_matrix=zeros(node_number,node_number);

node_names(1:(node_number*(node_number-1)/2))=1:(node_number*(node_number-1)/2);

for k=1:(node_number-1)

    places=(1+(k-1)*node_number+(k-1)+1):(node_number*k);

    nodes_matrix(places)=node_names(1:(node_number-k));

    node_names(1:(node_number-k))=[];

end

nodes_matrix=nodes_matrix+nodes_matrix';

%Chequea que enlace existe en TRAFFIC, define y cambia la ruta de cada

%margin adyacente a enlace adyacente

%Inicializacion de Memoria

link_routes{1}=[];

for k=1:route_number

    route=traffic{k,1,number};
```

%Inicializacion (vector donde el enlace de la ruta es guardado)

link_route=[];

for w=1:(length(route)-1)

 %Encuentra el nombre del enlace en NODES_MATRIX

 link_route=[link_route,nodes_matrix(route(w),route(w+1))];

 %Un enlace puede atravesar el camino en determinado tiempo

 link_route=unique(link_route);

 %Chequea la longitud de la ruta actual

 route_length(k)=length(link_route);

end

link_routes{k}=link_route;

end

%Determina que camino es el mas largo (si todos los caminos son >1, escoge uno randomicamente)

%PATH_LENGTH_POSITION se lo usa luego en el Bucle Principal

[path_length,path_length_position]=min(route_length);

%Chequea que ruta usa un enlace especifico

%Inicializacion de Memoria

for k=1:(node_number*(node_number-1)/2)

 which_routes_use_link{k}=[];

```
end

for k=1:route_number

    path=link_routes{k};

    for w=1:length(path)

        which_routes_use_link{path(w)}=[which_routes_use_link{path(w)},k];

    end

end

%Inicializacion de Lr y Lr_prim

PI(1:route_number)=0;

PI_prim(1:route_number)=Inf;

%Inicializacion de Ls (ofrece la carga sobre en enlace s)

Ls(1:(node_number*(node_number-1)/2))=0;

%Inicializacion de Bs (bloque sobre el enlace s)

Bs(1:(node_number*(node_number-1)/2))=0;

%Bucle Principal

while abs(PI(path_length_position)-PI_prim(path_length_position))>epsilon

    %Asigna PI_prim a PI

    PI_prim=PI;

    %Se calcula Ls
```

```
for s=1:(node_number*(node_number-1)/2)

    if ~isempty(which_routes_use_link{s})

        AI_vector=[];

        PI_vector=[];

        for g=1:length(which_routes_use_link{s})

            AI_vector=[AI_vector,traffic{which_routes_use_link{s}}(g),2,number];

            PI_vector=[PI_vector,1-PI(which_routes_use_link{s}}(g))];

        end

        %Ecuacion (7) en [5]

        Ls(s)=sum(AI_vector.*PI_vector)/(1-Bs(s));

    end

end

%Se calcula Bs

for s=1:(node_number*(node_number-1)/2)

    if ~isempty(which_routes_use_link{s})

        Bs(s)=erlang_b(Ls(s),C,C);

    end

end

%Se calcula PI
```



```
for k=1:route_number

    L_vector=[];

    for w=1:length(link_routes{k})

        L_vector=[L_vector,Ls(link_routes{k}(w))];

    end

    PI(k)=p_l(L_vector,C,C,d,method);

end

end

%Porcentage de Bloqueo

PI=PI*100;

%Asigana el bloqueo a la funcion VARARGOUT

blocking{1,blocking_dimension}=PI;

%Guarda la estructura

function [net_out]=save_network(description,structure,traffic,blocking,name);

save(name,'description','structure','traffic','blocking');

%No se puede tener una estructura con celdas de diferentes dimensiones, por

%esto necesita la comprobacion.

net_out=struct('blocking',blocking);
```

Anexo 16: Codificación de Programa COMPUTE_BLOCKING_BIRMAN para Matlab

%COMPUTE_BLOCKING_BIRMAN

function varargout=compute_blocking_birman(varargin)

%COMPUTE_BLOCKING_BIRMAN Bloque que realiza el calculo de probabilidad

%en un circuito de control de la red usada, reduce la carga en generacion de

%aproximaciones.

% [BLOCKING]=COMPUTE_BLOCKING_BIRMAN(NAME,NUMBER,EPSILON,METHOD,D,C)

% es una funcion que calcula la probabilidad de bloqueo usando una

% generacion para reducir la carga mediante metodos de aproximacion (RLA)

% primero introducido por Kelly [4], extendido por Chung, e implementado

% por Birman en redes WDM [1](longitudes de onda completas y sin

% conversion) y Tripathi [2].

% Debido a que el normal RLA requiere $O(C)$ operaciones para los casos de

% circuitos de control, y $O(C^{(n+1)})$ operaciones para casos de longitudes

% de onda enrutadas donde la extension de los caminos es 2, este es el

% valor para el uso del modelo simple puede no ser preciso en las

% soluciones pero puede ser mucho mas rapido que el normal RLA.

% NAME es una cadena que contiene el nombre de la red analizada guardando

% en el directorio MATLABROOT/networks, NUMBER es el numero de

% dimensiones en la estructura TRAFFIC. Esto significa que para el

% analisis TRAFFIC{:,;,NUMBER} seran los escogidos.

% METHOD es el tipo de conversion y D es el grado de conversion escasa.

% EPSILON es un valor de incremento que viene a ser usado. Para de talles

% se puede observar en [1],[2].

% C es el numero de canales que se va a evaluar en el bloque.

% Referencia:

% [1] Alexander Birman, "Computing Approximate Blocking Probabilities

% for a Class of All-Optical Network", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 14, June 1996

% [2] Tushar Tripathi, Kumar N. Sivarajan, "Computing Approximate

% Blocking Probabilities in Wavelength Routed All_optical Networks

% with Limited-Range Wavelength Conversion", IEEE Journal on

% Selected Areas in Communications, vol. 18, October 2000

% [3] S. Chung, A. Kashper, K.W. Ross, "Computing Approximate

% Blocking Propabilities for large loss networks", IEEE/ACM

% Transactions on Networking, vol. 1, 1993

% [4] F.P. Kelly, "Routing and capcity allocation in networks with

% trunk reservation", Matematics of Operation Research, vol. 15, no.

% 4, 1990

```
% Autor:
```

```
%      Edgar Paul Ramos Fuertes
```

```
%Excepciones en el programa
```

```
message=nargchk(6,6,nargin);
```

```
if ~isempty(message)
```

```
    error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR BIRMAN: Exceso en el Numero de  
Argumentos de Entrada',...
```

```
        message);
```

```
end
```

```
testing_int=[varargin{2},varargin{3},varargin{4},varargin{5},varargin{6}];
```

```
if find(isnan(testing_int))
```

```
    error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR BIRMAN:Tipo de Argumento',...
```

```
        'Los Argumentos deben ser Numeros');
```

```
end
```

```
%Chequea si VARARGIN son enteros positivos
```

```
if sum([testing_int<0,...
```

```
    fix([testing_int(1),testing_int(3:5)])~=...
```

```
    [testing_int(1),testing_int(3:5)])~=0
```

```
    error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR BIRMAN:Tipo de Argumento',...
```

```
        'Error en el tipo de argumentos');
```

```
end

if ~isstr(varargin{1})

    error('MATLAB:BLOQUE DE COMPUTO POR BIRMAN:Tipo de Argumento',...

        'Los argumentos deben ser cadenas de caracteres');

end

%Cambia la cadena a numero (por todo el numero de argumentos)

for k=2:5

    if isstr(varargin{k})==1

        varargin{2}=str2num(varargin{2});

    end

end

end

%Lista completa '*.mat' carpeta en directorio de trabajo actual

%Cambia de directorio a MATLABROOT\networks, catalogo que debe existir

cd([matlabroot,['\work\networks']]);

directory=what;

directory=struct2cell(directory);

directory=cellstr(directory{3});

%Chequea si la carpeta especificada '*.mat' ya existente

if find(strcmp(directory,[varargin{1},'.mat'])==1)
```

```
%Carga la carpeta *.MAT

load(varargin{1});

fields_vector=[exist('description'),exist('structure'),exist('traffic')];

if length(find(fields_vector))~=3

    error('BLOQUE DE COMPUTO POR BIRMAN: Incorrecto el nombre de las carpetas',...

        'Erroneos los Nombres de las carpetas');

end

%Chequea si BLOCKING esta definida y existe en esta carpeta

%Inicializa las banderas

blocking_exists=0;

varias=who;

varias_dimension=cellfun('ndims',varias);

varias_dimension=length(varias_dimension');

%Chequeo

for k=1:varias_dimension

    if isequal(cell2mat(varias(k)), 'blocking')

        blocking_exists=1;

    end

end

end
```

%Si la definicion existe, se agrega otra

if blocking_exists==1

 %Chequea las dimensiones asignadas a BLOCKING

 blocking_dimension=cellfun('ndims',blocking);

 blocking_dimension=length(blocking_dimension)+1;

 %Se procede a cargar BLOCKING

 blocking=birman(traffic,varargin{2},varargin{3},varargin{4},...

 varargin{5},varargin{6},blocking,blocking_dimension);

 varargout{1}=save_network(description,structure,traffic,blocking,...

 varargin{1});

 %Si la definicion no existe, primero se inicializa

elseif blocking_exists==0;

 blocking{1,1}=[];

 blocking_dimension=1;

 %Se procede a cargar MAKE_LOAD

 blocking=birman(traffic,varargin{2},varargin{3},varargin{4},...

 varargin{5},varargin{6},blocking,blocking_dimension);

 varargout{1}=save_network(description,structure,traffic,blocking,...

 varargin{1});

```
end

else

    error('BLOQUE DE COMPUTO POR BIRMAN: Incorrecto el nombre de las carpetas',...

        'Erroneos los Nombre de las carpetas');

end

function [blocking]=birman(traffic,number,epsilon,method,d,C,blocking,blocking_dimension);

%Chequea cuantas rutas conforman TRAFFIC{:,NUMBER}, debe

%chequear tambien cuantos nodos existen en TRAFFIC{:,NUMBER}

traffic_dim=cellfun('ndims',traffic);

traffic_length=length(traffic_dim(:,1,1));

route_number=0;

for k=1:traffic_length

    if ~isempty(traffic{k,1,number})

        route_number=route_number+1;

        max_node_number(k)=[max(traffic{k,1,number})];

    end

end

end

node_number=max(max_node_number);

%Nombre de enlaces en la red con sus numeros
```



```
nodes_matrix=zeros(node_number,node_number);

node_names(1:(node_number*(node_number-1)/2))=1:(node_number*(node_number-1)/2);

for k=1:(node_number-1)

    places=(1+(k-1)*node_number+(k-1)+1):(node_number*k);

    nodes_matrix(places)=node_names(1:(node_number-k));

    node_names(1:(node_number-k))=[];

end

nodes_matrix=nodes_matrix+nodes_matrix';

%Chequea que enlace existe en TRAFFIC, define y cambia la ruta de cada

%margin adyacente a enlace adyacente

%Inicializacion de Memoria

for k=1:route_number

    route=traffic{k,1,number};

    %Inicializacion (vector donde el enlace de la ruta es guardado)

    link_route=[];

    for w=1:(length(route)-1)

        %Encuentra el nombre del enlace en NODES_MATRIX

        link_route=[link_route,nodes_matrix(route(w),route(w+1))];

        %Un enlace puede atravesar el camino en determinado tiempo
```

```
link_route=unique(link_route);

%Chequea la longitud de la ruta actual

route_length(k)=length(link_route);

end

link_routes{k}=link_route;

end

%Determina que camino es el mas largo (si todos los caminos son >1, escoge uno
randomicamente)

%PATH_LENGTH_POSITION se lo usa luego en el Bucle Principal

[path_length,path_length_position]=min(route_length);

%Chequea que ruta usa un enlace especifico

%Inicializacion de Memoria

for k=1:(node_number*(node_number-1)/2)

    which_routes_use_link{k}=[];

end

for k=1:route_number

    path=link_routes{k};

    for w=1:length(path)

        which_routes_use_link{path(w)}=[which_routes_use_link{path(w)},k];

    end

end
```

```
end

%Se inicializa ALFA_j(m)

for k=1:(node_number*(node_number-1)/2)

    which_paths=which_routes_use_link{k};

    alfa{k}=[];

    if ~isempty(which_paths)

        sum_alfa_paths=[];

        for w=1:length(which_paths)

            sum_alfa_paths=[sum_alfa_paths,traffic{which_paths(w),2,number}];

        end

        end

        %Numero de salidas alfa que forman 0 no 1

        temp_vector_alfa(1)=0;

        temp_vector_alfa(2:C+1)=sum(sum_alfa_paths);

        alfa{k}=temp_vector_alfa;

    end

end

end

%Inicializacion de Lr y Lr_prim

Lr(1:route_number)=0;

Lr_prim(1:route_number)=Inf;
```

```
%Bucle Principal

while abs(Lr(path_length_position)-Lr_prim(path_length_position))>epsilon

    %Asigna L_prim a Lr

    Lr_prim=Lr;

    %Calculo de Q

    for c=1:C

        C_vector(c)=C-c+1;

    end

    for k=1:(node_number*(node_number-1)/2)

        %Inicializacion de Memoria

        q{k}=[];

        alfa_vector=alfa{k};

        if ~isempty(alfa_vector)

            q0_sum_elements=[];

            for w=1:C

                q0_sum_elements=[q0_sum_elements,prod(C_vector(1:w))/prod(alfa_vector(2:(w+1)))];

            end

            q0=1/(1+sum(q0_sum_elements));

            qm(1)=q0;
```

```
for w=1:C

    qm(w+1)=prod(C_vector(1:w))/prod(alfa_vector(2:(w+1)))*q0;

end

q{k}=qm;

end

end

%Calculo de ALFA_j(m)

for k=1:(node_number*(node_number-1)/2)

    %Para cada enlace presente en la red

    if ~isempty(alfa{k})

        %Genera un vector de arribo para rutas de enlaces transversales

        %Se vacia Ar_VECTOR e cada interaccion

        ar_vector=0;

        for g=1:length(which_routes_use_link{k})

            ar_vector(g)=traffic{which_routes_use_link{k}(g),2,number};

        end

        %Se hace calculos para cada m

        for w=2:C+1

            %Para cada camino con enlaces transversales K
```

```
%Se vacia Pr_Xr_Xj en cada interaccion

pr_Xr_Xj_vector=0;

for g=1:length(which_routes_use_link{k})

    %Toma el primer camino con enlaces transversales k

    path=link_routes{which_routes_use_link{k}(g)};

    %Se remueve los enlaces, se considera enlace K

    path(find(path==k))=[];

    %Se chequea la longitud de este camino

    path_length=length(path);

    %Se escoge entre dos opciones

    if path_length==0

        %Se calcula la probabilidad como la ecuacion (9) en [1]

        pr_Xr_Xj_vector(g)=1;

    else

        %Se genera las coordenadas

        coord_matrix=coordinates(1,C,path_length);

        coord_length=size(coord_matrix,1);

        %Calcula pr_Xr_Xj como se indica en la ecuacion (9) y (10) en [10]

        q_vector_sum=[];
```

```
for x=1:coord_length

    %Se adiciona para la multiplicacion 1-p_0(l,m,n,...)

    %Se coloca un X en orden decreciente porque x1>=x2>=...>=xn

    x_sorted=sort([coord_matrix(x,:),w-1]);

    x_sorted=x_sorted(length(x_sorted):-1:1);

    q_vector=(1-p_m(0,x_sorted,C,d,method));

    for y=1:path_length

        q_vector=[q_vector,q{path(y)}(coord_matrix(x,y)+1)];

    end

    q_vector_sum=[q_vector_sum,prod(q_vector)];

end

pr_Xr_Xj_vector(g)=sum(q_vector_sum);

end

end

alfa{k}(w)=sum(pr_Xr_Xj_vector.*ar_vector);

end

end

end

%Se calcula Lr
```

```
for k=1:route_number

    path_length=length(link_routes{k});

    q_vector_sum=[];

    if path_length==1

        Lr(k)=q{link_routes{k}(1)}(1);

    else

        %Se genera las coordenadas

        coord_matrix=coordinates(0,C,path_length);

        coord_length=size(coord_matrix,1);

        for x=1:coord_length

            %Se adiciona para la multiplicacion p_0(l,m,n,...)

            %Se coloca un X en orden decreciente porque x1>=x2>=...>=xn

            x_sorted=sort(coord_matrix(x,:));

            x_sorted=x_sorted(length(x_sorted):-1:1);

            q_vector=(p_m(0,x_sorted,C,d,method));

            for y=1:path_length

                q_vector=[q_vector,q{link_routes{k}(y)}(coord_matrix(x,y)+1)];

            end

            q_vector_sum=[q_vector_sum,prod(q_vector)];

        end

    end

end
```



```
end

Lr(k)=sum(q_vector_sum);

end

end

end

%Porcentaje de bloqueo

Lr=Lr*100;

%Asigna el bloqueo a la funcion VARARGOUT

blocking{1,blocking_dimension}=Lr;

%Se toma las coordenadas para sumarlas como en (9), (10) y (11); porque

%son varios caminos diferentes en longitud, por lo que se realiza el

%calculo de pr_Xr_Xj en un bucle. Lo cual permite realizar la suma para

%asignar a un especifico Qs.

function [coord_matrix]=coordinates(down,up,path_length)

coord_matrix(1:path_length)=down;

for w=path_length: -1:1

    coord_matrix_temp=coord_matrix;

    for k=down:up-1

        coord_matrix_temp(:,w)=coord_matrix_temp(:,w)+1;
```

```
        coord_matrix=[coord_matrix;coord_matrix_temp];

    end

end

%Guarda la estructura

function [net_out]=save_network(description,structure,traffic,blocking,name);

save(name,'description','structure','traffic','blocking');

%No se puede tener una estructura con celdas de diferentes dimensiones, por

%esto necesita la comprobacion.

net_out=struct('blocking',blocking);
```

Anexo 17: Codificación de Programa ERLANG_B para Matlab

%ERLANG_B

```
function varargout=erlang_b(varargin)

%ERLANG_B Formula de Erlang B.

% [B]=ERLANG_B(L,C,K) es un escrito que calcula la probabilidad de canales

% resultantes en M/M/C sistema de perdida. La solucion es guardada en B,

% L es la carga referencia (en Erlangs) y C es el numero de canales.

% Autor:

% Edgar Paul Ramos Fuertes

%Excepciones en el programa
```

```
message=nargchk(3,3,nargin);

testing_int=[varargin{1},varargin{2},varargin{3}];

if ~isempty(message)

    error('MATLAB:ERLANG_B:Exceso en el Numero de Argumentos de Entrada',...

        message);

end

if find(isnan(testing_int))

    error('MATLAB:ERLANG_B:Tipo de Argumento',...

        'Los Argumentos deben ser Numeros');

end

end

%Check if VARARGIN are positive integers

if sum([varargin{2}<0,fix(varargin{2})~=varargin{2}])~=0

    error('MATLAB:ERLANG_B:Tipo de Argumento',...

        'Los argumentos deben ser enteros positivos');

end

end

%Cambia la cadena a numero (por todo el numero de argumentos)

for k=1:3

    if isstr(varargin{k})==1

        varargin{k}=str2num(varargin{k});

    end

end
```

end

end

%Se da nombres a los argumentos enteros

L=varargin{1};

C=varargin{2};

K=varargin{3};

%Se inicializa la variables

sum_down=[];

for k=0:C

sum_down=[sum_down,L^k/factorial(k)];

end

%Se asigna la solucion

varargout{1}=(L^K/factorial(K))/sum(sum_down);

Anexo 18: Normativa G652 de la UIT-T

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.652

(06/2005)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables
de fibra óptica

Características de las fibras y cables ópticos monomodo

Recomendación UIT-T G.652

UIT-T



RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATELITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS AL PROTOCOLO ETHERNET SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.652

Características de las fibras y cables ópticos monomodo

Resumen

Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de fibras y cables ópticos monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm. En un principio, esta fibra fue diseñada para funcionar óptimamente en la región de longitud de onda de 1310 nm, pero puede asimismo utilizarse en la región de 1550 nm. Ésta es la última revisión de una Recomendación publicada por primera vez en 1984. En esta revisión se deja claro que debe especificarse el parámetro PMD_Q en las fibras no cableadas y se hacen más estrictos ciertos márgenes de tolerancia. Mediante la presente revisión se pretende mantener el ininterrumpido éxito comercial de esta fibra en los sistemas de transmisión óptica de alta calidad, que no dejan de evolucionar.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.652 fue aprobada el 29 de junio de 2005 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

Historia

Versión	Fecha de aprobación	
Versión 1	(10/1984)	
Versión 2	(11/1988)	
Versión 3	(03/1993)	
Versión 4	(04/1997)	
Versión 5	(10/2000)	En esta revisión se añadieron cuadros para los distintos niveles de soporte del sistema.
Versión 6	(03/2003)	En esta revisión se aclara la nomenclatura de las distintas categorías de fibras. Asimismo, de conformidad con el acuerdo sobre la descripción de las bandas de espectro, se modificó el límite superior de la banda L, de 16XX a 1625 nm. Las características de atenuación para las categorías con cresta de agua reducida (G.652.C y G.652.D) se generalizan para una amplia región en vez de para una única longitud de onda. Se añaden requisitos de PMD para todas las categorías y en dos de ellas se han reducido los límites (en comparación con el $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$). En cuanto a la prueba de macroflexión, el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Como se indica anteriormente, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente a lo largo del tiempo, por lo que se insta al lector a remitirse a la versión apropiada para determinar las características de productos ya en uso, teniendo en cuenta su año de producción. De hecho, los productos deben cumplir con las Recomendaciones en vigor en el momento de su fabricación, pero es posible que no cumplan plenamente los requisitos de las versiones posteriores de la Recomendación.
Versión 7	(06/2005)	Se señala el soporte de las aplicaciones G.695. Se precisa el método aplicable para atender los valores del coeficiente de dispersión cromático y en 5.10 se indica la utilización de estos valores junto con la utilización de las estadísticas de dispersión cromática para el diseño de sistemas. En 6.2 se precisa la relación entre el parámetro PMD_Q de la fibra no cableada y de la fibra cableada. En el cuadro de requisitos: Se elimina la línea correspondiente a la PMD de la fibra no cableada y se modifica la nota correspondiente a la PMD que se requiere en el caso de la fibra no cableada. Se reduce la tolerancia de la MFD en 1310 nm. Se reduce la pendiente de dispersión máxima en la longitud de onda correspondiente a una dispersión nula. Se reduce el error máximo de concentricidad. Se reduce la pérdida máxima de macroflexión. La formulación del requisito de máximo hídrico en los cuadros 3 y 4 se modifica con el fin de tomar en consideración la especificación en toda la gama de valores frente a la especificación en 1310 nm.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2005

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencias normativas	1
2.2 Referencias informativas	2
3 Terminología y definiciones	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	2
5 Características de la fibra.....	2
5.1 Diámetro del campo modal	3
5.2 Diámetro del revestimiento	3
5.3 Error de concentricidad del núcleo.....	3
5.4 No circularidad	3
5.5 Longitud de onda de corte	3
5.6 Pérdida por macroflexiones.....	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra.....	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	4
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática	4
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	11
I.1 Atenuación.....	11
I.2 Dispersión cromática	11
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	12
I.4 Coeficiente no lineal.....	12
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	12
BIBLIOGRAFÍA	14

Recomendación UIT-T G.652

Características de las fibras y cables ópticos monomodo

1 Alcance

Esta Recomendación describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizado para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también en longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas, mecánicas y de transmisión de esta fibra se describen más adelante en tres categorías de atributos:

- los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación;
- los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable;
- los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Esta Recomendación y las distintas categorías de calidad que se especifican en los cuadros de la cláusula 7 pueden soportar los sistemas conexos de las siguientes Recomendaciones:

- Rec. UIT-T G.957.
- Rec. UIT-T G.691.
- Rec. UIT-T G.692.
- Rec. UIT-T G.693.
- Rec. UIT-T G.959.1.
- Rec. UIT-T G.695.

NOTA – En función de la longitud de los enlaces, puede ser necesaria un cierto grado de acomodación de la dispersión para ciertos códigos de aplicación G.691, G.692 o G.959.1.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes se precisarán a medida que avancen los estudios y se adquiera experiencia.

2 Referencias

2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*

- Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- CEI 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*

2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2003), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.693 (2005), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2005), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*

3 Terminología y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Los valores se redondean al número de dígitos presentes en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar su conformidad.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
DGD	Retardo diferencial de grupo (<i>differential group delay</i>)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
GPa	Gigapascal
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (<i>statistical parameter for link PMD</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. En la cláusula 7 se establecen gamas de valores o límites a los mismos. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) pueden verse

apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal y la tolerancia del mismo se especifican para 1310 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse comprendido en la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación con respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . También se especifica en la cláusula 7 una tolerancia cuyo valor no debe ser superado. La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del núcleo

El error de concentricidad del núcleo no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) longitud de onda de corte de cable, λ_{cc} ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra, λ_c ;
- c) longitud de onda de corte de cable puente, λ_{cj} .

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otras longitudes de onda.

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} y λ_{cj} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra monomodo cableada sea 1260 nm o, en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm o, para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

La longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} , no debe exceder el valor máximo especificado en la cláusula 7.

5.6 Pérdida por macroflexiones

Las pérdidas por macroflexiones varían con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas alrededor del mandril con un radio determinado. La pérdida por macroflexión no debe exceder lo especificado en la cláusula 7 para la longitud de onda especificada, el radio de curvatura y el número de vueltas.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas se corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en instalaciones de sistemas reales para evitar un fallo por fatiga estática.

NOTA 3 – Si por razones de orden práctico se adopta un número de vueltas inferior al recomendado, se sugiere utilizar un número no inferior a 40 vueltas, siendo entonces el incremento de las pérdidas proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación de pérdidas por macroflexión se refiere el montaje de las fibras en instalaciones reales de fibra monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado puede utilizarse un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas con el objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas deben elegirse de modo que exista una correspondencia con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

5.7 Propiedades materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que intervienen en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

5.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada σ_p , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2 y 5.6/G.650.1.

5.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La

magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda en funcionamiento, la potencia óptica y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

Para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras G.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. La uniformidad de la dispersión cromática no es por tanto un aspecto de naturaleza funcional.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

Habrá que ajustar el retardo de grupo o el coeficiente de dispersión cromática a la longitud de onda, mediante la ecuación tripartita de Sellmeier, que se ha definido en el anexo A/G.650.1. (Véase 5.5/G.650.1 en lo que concierne a la interpolación de los valores de dispersión en longitudes de onda no medidas.)

La ecuación de Sellmeier puede utilizarse para ajustarse a los datos de cada intervalo de valores (1310 nm y 1550 nm) separadamente con dos ajustes, o con un ajuste común, utilizando datos de ambas gamas de valores.

El ajuste mediante la ecuación Sellmeier en la región de 1310 nm puede no ser suficientemente preciso si se extrapola a la región de 1550 nm. Como la dispersión cromática en esta última región es considerable, puede resultar aceptable esta menor precisión. En caso contrario, podría mejorarse la precisión, incluyendo datos de la región de 1550 nm al realizar el ajuste común, o al efectuar un ajuste separado para la región de 1550 nm. Hay que señalar que un ajuste común podría reducir la precisión en la región de 1310 nm.

El coeficiente de dispersión geométrica, D , se especifica estableciendo límites para los parámetros de una curva de dispersión cromática que sea función de la longitud de onda en la región de 1310 nm. El límite del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda, λ , se calcula utilizando la longitud de onda mínima de dispersión nula, $\lambda_{0\text{mín}}$, la longitud de onda máxima de dispersión nula, $\lambda_{0\text{máx}}$, y el coeficiente de la pendiente máxima de dispersión nula, $S_{0\text{máx}}$, en la siguiente expresión:

$$\frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\text{máx}}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\text{mín}}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

En los cuadros de la cláusula 7 deberán indicarse los límites de los valores de $\lambda_{0\text{mín}}$, $\lambda_{0\text{máx}}$, y $S_{0\text{máx}}$.

Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda que van de 1500 nm a 1625 nm se utilizan también para diseñar sistemas o compensadores de dispersión cromática. Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda seleccionadas en este intervalo de valores se evalúan con una ecuación Sellmeier de cinco términos o un modelo polinomial de cuarto orden basado en las mediciones realizadas en estas gamas de longitud de onda. Los diseños efectuados recurriendo a valores del coeficiente de dispersión cromática se basan normalmente en un enfoque estadístico similar al indicado en el Suplemento UIT-T G.39. En el apéndice I se enumeran los valores típicos para una banda de unos 1550 nm.

NOTA – En la mayoría de los casos no es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática de fibra monomodal.

6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras que se presentan en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre los métodos de prueba.

6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en las regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para una gama de longitudes de onda, en base a medidas realizadas sobre unas pocas longitudes de onda predictivas (3 a 4). Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1 y en el apéndice III/G.650.1 se presenta un ejemplo.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD). Cuando es necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual para cada fibra. Los requisitos sólo hacen referencia a aspectos del enlace calculados a partir de información del cable. A continuación se describe la métrica de la información estadística. En CEI/TR 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_Q , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de la probabilidad, Q, de que un valor de coeficiente de PMD concatenado sea mayor que PMD_Q . Para los valores de M y Q de la cláusula 7, el valor de PMD_Q no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas y especificaciones obtenidas en fibras no cableadas son requisito necesario pero no suficiente para garantizar las especificaciones en fibra cableada. El valor máximo para el diseño de enlaces especificado en fibras no cableadas será inferior o igual al especificado en fibras cableadas. La relación de los valores de PMD en fibra no cableada y cableada dependerá de las circunstancias de la construcción y tratamiento del cable, así como del estado de acoplamiento del modo de la fibra no cableada. En la Rec. UIT-T G.650.2 se propone el despliegue de un bajo acoplamiento de modo, lo que exige que la fibra se enrolle con poca tensión en un carrete de gran diámetro para realizar mediciones PMD en fibra no cableada.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial de grupo (DGD, *differential group delay*), que varía de forma aleatoria en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación de DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

NOTA 1 – Sólo se requerirá una especificación PMD_Q cuando los cables se utilicen para sistemas que disponen de la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, no se aplicará la especificación PMD_Q para los sistemas de la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – Deberá calcularse la PMD_Q para distintos tipos de cables, generalmente utilizando valores PMD de muestra. Las muestras se obtendrán de cables de construcción similar.

NOTA 3 – La especificación PMD_Q no se aplicará a cables cortos como los cables puente, cables interiores y cables de bajada.

7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen principalmente en función de los requisitos PMD y del requisito de atenuación en 1383 nm. En el apéndice I se incluye información sobre las distancias de transmisión y las velocidades binarias relativas a los requisitos PMD.

El cuadro 1, Atributos G.652.A, contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las recomendadas en las Recs. UIT-T G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10 Gbit/s hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de la Rec. UIT-T G.693.

El cuadro 2, Atributos G.652.B, contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria, hasta STM-64, tales como algunas de las descritas en las Recs. UIT-TG.691 y G.692, y STM-256 para algunas aplicaciones de las Recs. UIT-TG.693 y G.959.1. En función de la aplicación, puede ser necesario adaptar la dispersión cromática.

El cuadro 3, Atributos G.652.C, es semejante al cuadro sobre G.652.A, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

El cuadro 4, Atributos G.652.D, es semejante al cuadro sobre G.652.B, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

Cuadro 1/G.652 – Atributos G.652.A

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PDM _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD _Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD _Q .		

Cuadro 2/G.652 – Atributos G.652.B

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD _Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD _Q .		

Cuadro 3/G.652 – Atributos G.652.C

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	±0,6 μm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	±1 μm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/√km
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD_Q.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Apéndice I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cable de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Los párrafos de este apéndice deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en los cuadros siguientes se presentan valores típicos de enlaces de fibra óptica. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

I.1 Atenuación

La atenuación A de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

donde:

- α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- α_s atenuación media por empalme
- x número de empalmes de un enlace
- α_c atenuación media de los conectores de línea
- y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- L longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en la cláusula I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de enlaces de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

Cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm, a menudo se emplea alguna forma de compensación de la dispersión cromática. En este caso, en el diseño se utiliza la dispersión cromática media del enlace. La dispersión medida en la ventana de 1550 nm puede caracterizarse en dicha ventana mediante una relación lineal con la longitud de onda. La relación se describe en función del coeficiente de dispersión cromática medio y del coeficiente de la pendiente de dispersión a 1550 nm.

En la cláusula I.1 se incluyen valores típicos del coeficiente de dispersión cromática, D_{1550} , y del coeficiente de la pendiente de dispersión cromática, S_{1550} , a 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse junto con la longitud del enlace, L_{Link} , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \text{ (ps/nm)}$$

I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites. Todo ello está documentado en CEI/TR 61282-3 y resumido en el apéndice IV/G.650.2. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analizan en CEI/TR 61282-3.

Longitud del enlace de referencia, L_{Ref} : es la longitud máxima del enlace a la que se aplica la DGD máxima y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.

Longitud de cable máxima típica, L_{Cab} : los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.

DGD máxima, $DGD_{m\acute{a}x}$: valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima, P_F : probabilidad de que el valor DGD real supere $DGD_{m\acute{a}x}$.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con la no linealidad de la fibra descrita mediante el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recs. UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos varían con la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2, son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Los valores de DGD máxima implícitos inducidos por la fibra del cuadro I.2 son orientativos con respecto a los requisitos de otros elementos ópticos que se pueden encontrar en el enlace.

NOTA – La longitud de sección de cable es de 10 km excepto para el enlace $0,10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}} / > 4000 \text{ km}$, en que se fija a 25 km. El nivel de probabilidades de error es $6,5 \times 10^{-8}$.

Cuadro I.1/G.652 – Valor representativo de enlaces de fibra óptica concatenados

Coefficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1260 nm – 1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de dispersión cromática	D ₁₅₅₀	17 ps/nm × km
	S ₁₅₅₀	0,056 ps/nm ² × km
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

Cuadro I.2/G.652 – Retardo diferencial de grupo

PMDQ máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido por la fibra (ps)	Velocidad binaria del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente para los sistemas 10 Gigabit Ethernet.			

BIBLIOGRAFÍA

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- CEI 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

Anexo 19: Normativa G653 de la UIT-T



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.653

(12/2003)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables de
fibra óptica

**Características de los cables y fibras ópticas
monomodo con dispersión desplazada**

Recomendación UIT-T G.653

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN - ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.653

Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada

Resumen

Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión cero desplazada en la región de longitud de onda de 1550 nm. Ésta es la última revisión de esta Recomendación, elaborada originalmente en 1988. En esta revisión se establece una nueva categoría de fibra con un valor de diseño de enlace con dispersión por modo de polarización (PMD) reducida de $0,20 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$, para acomodar sistemas de productos con mayores velocidades binarias y distancias que los alcanzados en las revisiones anteriores. El objetivo de esta revisión es prolongar el éxito comercial experimentado por esta fibra en el marco de los sistemas de transmisión óptica de alta calidad de funcionamiento en constante evolución.

Orígenes e historia

- 1988 Versión 1.
- 1993 Versión 2.
- 1997 Versión 3.
- 2000 Versión 4. Esta revisión modifica la estructura de la Recomendación, de conformidad con otras Recomendaciones relativas a fibras ópticas, como G.652, G.654 y G.655.
- 2003 Versión 5. Esta revisión aclara la descripción del coeficiente de dispersión cromática. Del mismo modo, de conformidad con el acuerdo alcanzado sobre la descripción de la banda espectral, se modifica el límite superior de la banda L de 16xx nm a 1625 nm. También se sustituyen los términos subcategoría base y subcategoría por categoría base y categoría, respectivamente. Se establece asimismo una nueva categoría, G.653.B, con un límite PMD reducido (en comparación con $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$). En las pruebas de macroflexión el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm.

Según lo anterior, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente con el paso de los años; por ello se insta al lector que para determinar las características de los productos ya instalados, utilice la versión adecuada, para lo cual deberá fijarse en el año de producción. En realidad, se espera que los productos sean conformes con la Recomendación que estaba en vigor cuando se fabricaron, y puede que no sean completamente conformes con las subsiguientes versiones de la Recomendación.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.653 fue aprobada el 14 de diciembre de 2003 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2004

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Page
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencias normativas	2
2.2 Referencias informativas	2
3 Términos y definiciones	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Características de la fibra.....	3
5.1 Diámetro del campo modal	3
5.2 Diámetro del revestimiento	3
5.3 Error de concentricidad del núcleo.....	3
5.4 No circularidad	3
5.5 Longitud de onda de corte	3
5.6 Pérdida por macroflexiones.....	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra.....	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	5
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable	6
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD).....	6
7 Cuadro de valores recomendados	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	10
I.1 Atenuación.....	10
I.2 Dispersión cromática	10
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	11
I.4 Coeficiente no lineal.....	11
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	11
Bibliografía	12

Recomendación UIT-T G.653

Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada

1 Alcance

Esta Recomendación describe cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada, con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm y un coeficiente de dispersión que aumenta monotónicamente con la longitud de onda. Esta fibra está optimizada para uso en la región de 1550 nm, pero puede utilizarse también a longitudes de onda en torno a 1310 nm, con las restricciones indicadas en esta Recomendación. Se realizan algunas provisiones para soportar velocidades de transmisión a longitudes de onda superiores – de hasta 1625 nm. Los parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación en tres categorías de atributos:

- Los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación.
- Los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable.
- Los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Se pretende que esta Recomendación y las diferentes categorías de calidad de funcionamiento que aparecen en los cuadros de la cláusula 7 soporten los sistemas de las siguientes Recomendaciones afines:

- G.957.
- G.691.
- G.692.
- G.693.
- G.959.1.
- G.977.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en las Recomendaciones UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los correspondientes parámetros, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, se precisarán a medida que se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

2.1 Referencias normativas

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo*, más enmienda 1 (2003).
- Recomendación UIT-T G.650.2 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo*, más enmienda 1 (2003).

2.2 Referencias informativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen información relevante.

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos*.
- Recomendación UIT-T G.691 (2003), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos*.
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos*.
- Recomendación UIT-T G.693 (2003), *Interfaces ópticas para sistemas intraoficina*.
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona*.
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red de transporte óptica*.
- Recomendación UIT-T G.977 (2004), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con amplificación óptica*.

3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recomendaciones UIT-T G.650.1 y G.650.2. Antes de evaluar su conformidad, los valores se redondean al número de dígitos que figuran en los cuadros de valores recomendados.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

DGD	Retardo de grupo diferencial (<i>differential group delay</i>)
GPa	GigaPascal
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (<i>statiscal parameter for link PMD</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra, que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para los fabricantes de fibras. En los cuadros de la cláusula 7 se presentan las gamas de valores y los valores límites. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) pueden verse apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. En los demás casos, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable arrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal y la tolerancia del mismo se especifican para 1550 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse comprendido en la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia que no debe excederse. La desviación del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del núcleo

El error de concentricidad no debe exceder del valor especificado en la cláusula 7.

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) longitud de onda de corte del cable λ_{cc} ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra λ_c ;
- c) longitud de onda de corte del cable puente λ_{ej} .

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} y λ_{cj} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre uniones a la longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra monomodo cableada sea 1270 nm, o en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cj} sea 1270 nm, o en el peor caso de longitud y de flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea λ_c .

La longitud de onda de corte del cable λ_{cc} no debe exceder el valor máximo especificado en la cláusula 7.

NOTA 1 – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarios otros valores de longitud de onda de corte.

NOTA 2 – La recomendación anterior no basta para garantizar el funcionamiento monomodo en la región de 1310 nm en cualquier combinación posible de longitudes de onda de funcionamiento del sistema, largos de cable y condiciones de instalación del cable. Cuando se prevea funcionamiento en la región de 1310 nm deberán fijarse límites adecuados a λ_c o λ_{cc} , con una atención especial para evitar el ruido modal en largos de cable mínimos, entre uniones de reparación y los cables puente.

5.6 Pérdida por macroflexiones

La pérdida debida a macroflexiones varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado. Las pérdidas por macroflexión no deben exceder el valor máximo de la cláusula 7 para las longitudes de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas especificados.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número de vueltas recomendado corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se adopta un número de vueltas inferior al recomendado, se sugiere utilizar un número no inferior a 40 vueltas, siendo entonces el incremento de las pérdidas proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación de pérdidas por macroflexión se refiere al montaje de las fibras en instalaciones reales de fibra monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas sobre la característica de pérdida se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado puede utilizarse un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas al objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas, deben elegirse de modo que exista una correspondencia con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

5.7 Propiedades materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

5.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada, σ_p , no será inferior al valor especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en las cláusulas 3.2 y 5.6 de la Rec. UIT-T G.650.1.

5.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda en funcionamiento y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El retardo de grupo o la dispersión cromática medidos por unidad de longitud de fibra por oposición a la longitud de onda deberá ajustarse a la ecuación cuadrática que se define en 5.5.1.3.2/ G.650.1. (Véase 5.5/G.650.1 donde se dan orientaciones sobre la interpolación de los valores de dispersión con longitudes de onda no medidas.)

Dependiendo de los requisitos de exactitud, para intervalos de longitud de onda de hasta 35 nm, podrá utilizarse la ecuación cuadrática en la región de 1550 nm. Para intervalos de longitud de onda más largos, se recomienda el modelo Sellmeier de 5 términos o el modelo polinomial de cuarto orden. La ecuación cuadrática no está prevista para ser utilizada en la región de 1310 nm.

El coeficiente de dispersión cromática, $D(\lambda)$, se especifica en una gama de longitud de onda estableciendo la gama de valores absolutos del coeficiente de dispersión cromática permitidos. La especificación es la siguiente:

$$|D(\lambda)| \leq D_{m\acute{a}x} \text{ for } \lambda_{m\acute{i}n} \leq \lambda \leq \lambda_{m\acute{a}x}$$

donde:

$$1525 \text{ nm} \leq \lambda_{m\acute{i}n} \leq \lambda_{m\acute{a}x} \leq 1575 \text{ nm}$$

Al mismo tiempo, se especifican en las siguientes ecuaciones la longitud de onda de dispersión cero, λ_0 , y la pendiente de dispersión cero, S_0 :

$$\lambda_{0 \text{ m}\acute{i}n} \leq \lambda_0 \leq \lambda_{0 \text{ m}\acute{a}x}$$

$$S_0 \leq S_{0 \text{ m}\acute{a}x}$$

Los valores de $D_{m\acute{a}x}$, $\lambda_{m\acute{i}n}$, $\lambda_{m\acute{a}x}$, $\lambda_{0 \text{ m}\acute{i}n}$, $\lambda_{0 \text{ m}\acute{a}x}$ y $S_{0 \text{ m}\acute{a}x}$ deberán ajustarse a los valores de la cláusula 7.

NOTA – No es necesario medir rutinariamente el coeficiente de dispersión cromática y la longitud de onda de dispersión cero.

6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se incluyen recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre métodos de prueba.

6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1550 nm. Cuando se tiene el propósito de utilizar estos cables en la región de 1300 nm debe tenerse en cuenta que su coeficiente de atenuación en esta región es generalmente inferior a 0,55 dB/km. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para todo un espectro de longitudes de onda a partir de las medidas de unas pocas longitudes de onda (de 3 a 4) de predicción. Este procedimiento se describe en 5.4/G.650.1 y en el apéndice III/ G.650.1 se presenta un ejemplo de fibra G.652.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

La dispersión por modo de polarización (PMD) de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual para cada fibra. Los requisitos sólo hacen referencia a aspectos del enlace calculados a partir de la información del cable. A continuación se describe la métrica de la especificación estadística. En CEI 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_Q , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de la probabilidad, Q , de que un valor de coeficiente de PMD concatenado sea mayor que PMD_Q . Para los valores de M y Q de la cláusula 7, el valor de PMD_Q no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas realizadas sobre fibras no cableadas pueden utilizarse para generar estadísticas de fibras cableadas cuando el diseño y los procesos sean estables y las relaciones entre los coeficientes de PMD de fibras cableadas y no cableadas sean conocidas. Si se ha demostrado que dicha relación existe, el fabricante del cable puede especificar facultativamente un valor máximo de PMD de fibras no cableadas.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo de grupo diferencial (DGD, *differential group delay*), que varía de forma aleatoria en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación de DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

NOTA 1 – Sólo se requerirá la especificación PMD_Q cuando se empleen cables para sistemas que tengan la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, no se aplicará la especificación PMD_Q a los sistemas recomendados en la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – Debe calcularse el PMD_Q para distintos tipos de cables, generalmente utilizando los valores PMD de muestra. Estas muestras se obtendrán de cables de construcción similar.

NOTA 3 – No debe aplicarse la especificación PMD_Q a cables cortos, como cables puente, cables en interiores y cables de derivación.

7 Cuadro de valores recomendados

En los siguientes cuadros se resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen básicamente por los requisitos de PMD . Véase el apéndice I para obtener más información sobre las distancias de transmisión y velocidades binarias relativas a los requisitos de PMD . Los atributos G.653.A del cuadro 1 son la categoría básica para un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada. Esta categoría se adapta a los sistemas de las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.693, G.957 y G.977 con una separación no uniforme entre canales en la región de longitud de onda de 1550 nm.

Numerosas aplicaciones de sistemas de cables submarinos pueden utilizar esta categoría. En algunas aplicaciones submarinas, una optimización completa puede conducir a la elección de valores distintos a los aquí descritos. Un ejemplo de ello podría ser permitir que las longitudes de onda de corte alcanzaran valores tan elevados como 1500 nm.

Los atributos G.653.B del cuadro 2 son semejantes a los de G.653.A, pero un requisito de PMD más estricto permite el funcionamiento de los sistemas STM-64 con longitudes superiores a 400 km y el funcionamiento de aplicaciones STM-256 de G.959.1.

Cuadro 1/G.653 – Atributos G.653.A

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	7.8-8,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,8 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1270 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,5 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{\text{mín}}$	1525 nm
	$\lambda_{\text{máx}}$	1575 nm
	$D_{\text{máx}}$	3,5 ps/(nm \times km)
	$\lambda_{0\text{mín}}$	1500 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1600 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,085 ps/(nm ² \times km)
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Nota)
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo para fibra no cableada a fin de soportar los requisitos primarios del PMD _Q del cable si éste ha sido verificado para un tipo de construcción de cable en particular.		

Cuadro 2/G.653 – Atributos G.653.B

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	7,8-8,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,8 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1270 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,5 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{\text{mín}}$	1525 nm
	$\lambda_{\text{máx}}$	1575 nm
	$D_{\text{máx}}$	3,5 ps/(nm \times km)
	$\lambda_{0\text{mín}}$	1500 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1600 nm
	$S_{0\text{mín}}$	0,085 ps/(nm ² \times km)
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Nota)
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo para fibra no cableada a fin de soportar los requisitos primarios del PMD_Q del cable si éste ha sido verificado para un tipo de construcción de cable en particular.</p>		

Apéndice I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cable de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Las subcláusulas de este apéndice deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en I.5 se presentan valores típicos para enlaces de fibra óptica.

Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del enlace están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

I.1 Atenuación

La atenuación A de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

donde:

α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace

L longitud del enlace

α_s atenuación media por empalme

x número de empalmes de un enlace

α_c atenuación media de los conectores de línea

y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en I.5 corresponden al coeficiente de atenuación del enlace de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

En I.5 puede encontrarse la longitud de onda de dispersión λ_{0typ} , y el coeficiente de pendiente de dispersión, S_{0typ} , para la λ_{0typ} . Estos valores, junto con la longitud del enlace, L_{Link} , pueden utilizarse para calcular la dispersión típica que ha de emplearse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}[S_{0typ}(\lambda - \lambda_{0typ})] \quad (\text{ps/nm})$$

I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD)

El retardo de grupo diferencial es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por lo tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites, estando todo ello documentado en CEI 61282-3. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analizan en CEI 61282-3.

Longitud del enlace de referencia (L_{Ref} , *reference link length*): es la máxima longitud de enlace a la que se aplica el DGD máximo y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.

Longitud de cable máxima típica (L_{Cab} , *typical maximum cable length*): los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.

DGD máximo, $DGD_{m\acute{a}x}$: valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima, P_F : probabilidad de que el valor DGD real supere $DGD_{m\acute{a}x}$.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recomendaciones UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos dependen de la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2 son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados de acuerdo con I.1 y I.3, respectivamente. Los valores máximos implícitos de DGD inducidos en la fibra del cuadro I.2 son útiles como orientación en relación con los requisitos de otros elementos ópticos que puedan encontrarse en el enlace.

Cuadro I.1/G.653 – Valores representativos de un enlace de fibra óptica concatenado

Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	Valor típico del enlace (Nota)
	1550 nm	0,275 dB/km
	1625 nm	TBD
Parámetros de dispersión cromática	λ_{0typ}	1550 nm
	S_{0typ}	0,07 ps/(nm ² × km)
NOTA – El valor del enlace típico corresponde al coeficiente de atenuación del enlace que se utiliza en las Recomendaciones UIT-T G.957 y G.691.		

Cuadro I.2/G.653 – Retardo de grupo diferencial

PMD_Q máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido en la fibra (ps)	Velocidades binarias del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (Nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	>4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente a los sistemas Ethernet de 10 Gigabits.			

NOTA – La longitud de la sección del cable es de 10 km, excepto para el enlace de 0,10 ps/√km / > 4000 km, donde se fija en 25 km, y el nivel de probabilidad es $6,5 \times 10^{-8}$.

Bibliografía

- CEI/TR 61282-3:2002, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

Anexo 20: Normativa G655 de la UIT-T

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.655

(03/2006)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables de
fibra óptica

**Características de fibras y cables ópticos
monomodo con dispersión desplazada no nula**

Recomendación UIT-T G.655

UIT-T



RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATELITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS AL PROTOCOLO ETHERNET SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.655

Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

Resumen

En esta Recomendación se describen las características geométricas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática es, en valor absoluto, mayor que cero en la gama de longitudes de onda 1530 nm a 1565 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser especialmente perjudiciales para los sistemas que utilizan multiplexación por división en longitud de onda densa. Ésta es la última revisión de esta Recomendación publicada por primera vez en 1996, añadiéndose dos nuevas categorías de fibra en los cuadros D y E. Ambas categorías limitan el coeficiente de dispersión cromática mediante un par de curvas limitantes en función de la longitud de onda para la gama comprendida entre 1460 nm y 1625 nm. Aunque la dispersión puede cambiar de signo a longitudes de onda inferiores a 1530 nm, se ha querido incluir dichos valores de longitud de onda más bajos con objeto de proporcionar información para soportar aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda sin degradación no lineal significativa en los canales de 1471 nm y superiores. Estos cuadros se presentan para diferenciar las dos familias principales de fibras G.655 soportadas por diversos fabricantes. Los cuadros A, B y C no se han modificado. Los cuadros A y B no se incluyen en esta publicación, sino en la edición de 2003 de esta Recomendación.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.655 fue aprobada el 29 de marzo de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

- | | |
|---------|--|
| 1996 | Primera versión. |
| 10/2000 | Versión 2. En esta revisión se añadieron cuadros para los diferentes niveles de soporte del sistema. |
| 03/2003 | Versión 3. De conformidad con el acuerdo sobre las bandas espectrales, la descripción del límite superior de la banda L ha pasado de 16xx a 1625 nm. Se han cambiado los términos subcategoría básica y subcategoría por categoría básica y categoría. Se han añadido los requisitos PMD en todas las categorías y dos de ellas tienen un límite reducido (comparado con $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$). En las pruebas de macroflexión el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Según lo anterior, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente con el paso de los años; por ello se advierte al lector que para determinar las características de los productos ya instalados, utilice la versión adecuada, para lo cual deberá fijarse en el año de producción. En realidad, se espera que los productos sean conformes con la Recomendación que estaba en vigor cuando se fabricaron, y puede que no sean completamente conformes con las subsiguientes versiones de la Recomendación. |

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2006

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	2
2.1 Referencias normativas	2
2.2 Referencias informativas	2
3 Términos y definiciones	3
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	3
5 Características de la fibra.....	3
5.1 Diámetro del campo modal	3
5.2 Diámetro del revestimiento	3
5.3 Error de concentricidad del campo modal.....	3
5.4 No circularidad	4
5.5 Longitud de onda de corte	4
5.6 Pérdida por macroflexiones.....	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra.....	5
5.8 Perfil del índice de refracción.....	5
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable	6
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)	7
7 Cuadros de valores recomendados.....	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	12
I.1 Atenuación.....	12
I.2 Dispersión cromática	12
I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD).....	13
I.4 Coeficiente no lineal.....	13
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	13
I.6 Ejemplos de implementación	14
I.7 Límites del coeficiente de dispersión cromática para los cuadros D y E	15
BIBLIOGRAFÍA	18

Recomendación UIT-T G.655

Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

1 Alcance

En esta Recomendación se describe una fibra monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que algún valor diferente de cero en la gama de longitudes de onda superiores a 1530 nm. Esta dispersión reduce la aparición de los efectos no lineales que pueden resultar especialmente perjudiciales para los sistemas que utilizan multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*). Con longitudes de onda menores, el coeficiente de dispersión puede ser cero, si bien es posible especificar, para estas longitudes de onda, otros valores del mismo para soportar sistemas que usen multiplexación por división aproximada en longitud de onda (CWDM, *coarse wavelength division multiplexing*) sin degradación significativa causada por efectos no lineales.

Estas fibras se diseñaron inicialmente para su utilización en la gama de longitudes de onda comprendidas entre 1530 nm y 1565 nm. Se han añadido disposiciones para soportar la transmisión con longitudes de onda superiores, hasta 1625 nm, e inferiores, hasta 1460 nm.

En la cláusula 7, los cuadros D y E distinguen las dos familias principales de implementaciones de fibra G.655 soportadas por varios vendedores. Los cuadros A, B y C pueden usarse para definir otras implementaciones. Los cuadros A y B no se incluyen en esta Recomendación, pero sí en la edición de 2003 de esta Recomendación.

Los parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación para tres categorías de atributos:

- los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación;
- los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable;
- los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Se pretende que esta Recomendación, y las diferentes categorías que aparecen en los cuadros de la cláusula 7, soporten los sistemas de las siguientes Recomendaciones afines:

- Rec. UIT-T G.691.
- Rec. UIT-T G.692.
- Rec. UIT-T G.693.
- Rec. UIT-T G.695.
- Rec. UIT-T G.696.1.
- Rec. UIT-T G.698.1.
- Rec. UIT-T G.957.
- Rec. UIT-T G.959.1.

En esta Recomendación se presenta una combinación de diseños de fibra que pueden cubrir un amplio espectro de aplicaciones. En el futuro se podrán realizar algunas modificaciones. Sin embargo, la compatibilidad en un mismo sistema de fibras de distintas características no ha sido aún probada, siendo en general cuestionable su utilización simultánea en un mismo sistema y debiendo ello ser objeto de un acuerdo entre el usuario y el fabricante.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que habrán de seguirse en la medición para la verificación de las diversas características son las incluidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, se precisarán a medida que se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

2 Referencias

2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos estadísticos y no lineales de fibras y cables monomodo.*

2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2006), *Interfaces ópticas para sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.693 (2006), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.694.1 (2002), *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división en longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división en longitud de onda densa.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2005), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.696.1 (2005), *Aplicaciones de la multiplexación por división en longitud de onda densa en el intradominio longitudinalmente compatibles.*
- Recomendación UIT-T G.698.1 (2005), *Aplicaciones de multiplexación por división en longitud de onda densa con interfaces ópticas monocanal.*
- Recomendación UIT-T G.957 (2006), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2006), *Interfaces de capa física de red de transporte óptica.*

3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Antes de evaluar su conformidad, los valores se redondean al número de dígitos que figuran en los cuadros de valores recomendados.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
CWDM	Multiplexación por división aproximada en longitud de onda (<i>coarse wavelength division multiplexing</i>)
DGD	Retardo diferencial de grupo (<i>differential group delay</i>)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
GPa	GigaPascal
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (<i>statistical parameter for PMD link</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para su fabricación. Los cuadros de la cláusula 7 presentan rangos o límites de valores. De éstos, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la PMD pueden verse apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. En los demás casos, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable arrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal del diámetro de campo modal y la tolerancia del mismo se especifican para 1550 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse dentro de la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 µm. En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia que no debe ser superada. La desviación del revestimiento con respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del campo modal

El error de concentricidad no debe exceder del valor especificado en la cláusula 7.

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) Longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} .
- b) Longitud de onda de corte de la fibra, λ_c .
- c) Longitud de onda de corte del cable puente, λ_{cj} .

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otros valores de longitud de onda de corte.

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} y λ_{cj} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo de cable mínimo entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse de dos formas: recomendando que la longitud de onda de corte máxima λ_{cc} del cable compuesto de fibra óptica monomodo sea 1480 nm, o en el caso de puentes o cables de unión típicos, recomendando que la longitud de onda de corte del cable puente sea de 1480 nm, o en el peor caso de longitud y de flexiones de la fibra, recomendando que la longitud de onda de corte máxima de la fibra sea de 1470 nm.

La longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} , deberá ser inferior al valor máximo especificado en la cláusula 7.

5.6 Pérdida por macroflexiones

La pérdida por macroflexiones varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado. Las pérdidas por macroflexión no deben exceder el valor máximo de la cláusula 7 para las longitudes de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas especificados.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la implementación un número de vueltas menor al recomendado, nunca se empleen menos de 40 vueltas, siendo entonces el incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación sobre la pérdida por macroflexión se refiere al montaje de las fibras en instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado, puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas al objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

5.7 Propiedades materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

5.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada, σ_p , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2.3/G.650.1 y 5.6/G.650.1.

5.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda específica, el valor absoluto local del coeficiente de dispersión puede variar respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, la mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitada a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda de funcionamiento, de la potencia óptica y la distancia a lo largo de la cual se produce la mezcla de cuatro ondas.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El coeficiente de dispersión cromática, D , se especifica para una gama de longitudes de onda. La Rec. UIT-T G.650.1 proporciona los métodos de medida. Existen dos métodos para especificar los límites: el original, que es una especificación de tipo caja, y el nuevo, en el que los valores del coeficiente de dispersión están limitados por un par de curvas.

NOTA 1 – La uniformidad de la dispersión cromática debe ser coherente con el funcionamiento del sistema.

NOTA 2 – Los requisitos de la dispersión cromática obedecen al diseño del sistema WDM, que debe equilibrar la dispersión cromática de primer orden con diversos efectos no lineales, tales como el mezclado de cuatro ondas, la modulación de fase cruzada, la inestabilidad de la modulación, la dispersión Brillouin estimulada, y la formación de solitones (véase la Rec. UIT-T G.663). El efecto de la dispersión cromática es interactivo con la no linealidad de la fibra, y se define mediante el coeficiente de no linealidad.

NOTA 3 – No es necesario efectuar mediciones periódicas del coeficiente de dispersión cromática.

5.10.1 Forma de especificación original

Esta forma de especificación es aplicable al cuadro C de la cláusula 7, así como a los cuadros A y B correspondientes a la versión de 2003 de esta Recomendación.

El coeficiente de dispersión cromática, D , se especifica para una gama de longitudes de onda estableciendo un rango de valores absolutos permitidos para el mismo. El coeficiente de dispersión cromática no deberá cruzar el valor cero para la gama de longitudes de onda especificada. También se especifica el signo de la dispersión cromática. La forma de dicha especificación es la siguiente:

$$D_{\min} \leq |D(\lambda)| \leq D_{\max} \quad \text{para } \lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}$$

donde:

$$0,1 \text{ ps/nm}\cdot\text{km} \leq D_{\min} \leq D_{\max} \leq 10,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$$

$$1530 \text{ nm} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1565 \text{ nm}$$

$$D_{\max} \leq D_{\min} + 5,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$$

Los valores de D_{\min} , D_{\max} , λ_{\min} , λ_{\max} y el signo deben estar comprendidos en las gamas especificadas en la cláusula 7. En el apéndice I se presentan algunos ejemplos de implementación. La ampliación a longitudes de onda superiores a 1565 nm e inferiores a 1530 nm está en estudio.

NOTA 1 – D_{\min} no se produce necesariamente a λ_{\min} y D_{\max} no se produce necesariamente a λ_{\max} .

NOTA 2 – El signo de D no varía en la mencionada gama de longitudes de onda para una fibra dada, pero puede variar de una fibra a otra dentro de un sistema..

NOTA 3 – Puede ser necesario especificar el signo de D según el diseño del sistema y el tipo de transmisión.

5.10.2 Especificación basada en un par de curvas limitantes

Esta especificación se aplica a los cuadros D y E de la cláusula 7.

Para cada longitud de onda, λ , el coeficiente de dispersión cromática, $D(\lambda)$, se restringirá a una gama de valores asociados a dos curvas límites, $D_{\min}(\lambda)$ y $D_{\max}(\lambda)$, para una o varias gamas de longitud de onda especificadas en función de λ_{\min} y λ_{\max} .

Un conjunto de curvas ejemplo se representa simbólicamente como un par de líneas rectas:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min}(\lambda - 1460) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max}(\lambda - 1460) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

$$D_{\min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{\max}(\lambda) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

Las curvas límite pueden variar de una longitud de onda a otra.

6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados. Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre métodos de prueba.

6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación se puede calcular para todo un espectro de longitudes de onda, a partir de las mediciones de unas pocas (3 a 4) longitudes de onda predictoras. Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1. En el apéndice III/G.650.1 se da un ejemplo.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

Cuando sea necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, y no de forma individual. Los requisitos se refieren sólo al aspecto del enlace calculado a partir de la información del cable. A continuación se describe la métrica de la especificación estadística. En CEI/TR 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_Q , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un posible enlace de M secciones de cable. El límite superior se define con respecto a un bajo nivel de probabilidad, Q , que es la probabilidad de que un valor del coeficiente de PMD concatenado sea mayor que PMD_Q . Para los valores de M y de Q especificados en la cláusula 7, el valor de PMD_Q no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas y especificaciones relativas a fibras no cableadas son necesarias, pero no suficientes para garantizar la especificación de la fibra cableada. El valor máximo de diseño del enlace especificado para fibra no cableada será igual o inferior al especificado para fibra cableada. La relación entre los valores de PMD para fibra no cableada y para fibra cableada depende de los detalles de la construcción y del procesado del cable, así como de la condición del acoplamiento de modo de la fibra no cableada. En la Rec. UIT-T G.650.2 se propone el despliegue de un acoplamiento de modo bajo, lo que exige un enrollado de baja tensión en un carrete de gran diámetro para realizar mediciones de PMD en fibra no cableada.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son prácticamente equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial de grupo (DGD), que varía aleatoriamente en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación del DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD de enlace.

NOTA 1 – La especificación de PMD_Q se requeriría únicamente si los cables se utilizan para sistemas que posean la especificación de DGD máximo. Así, por ejemplo, la especificación de PMD_Q no se aplicaría a los sistemas propuestos en la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – El PMD_Q debe calcularse para varios tipos de cables, generalmente a través de valores de PMD muestreados y obtenidos a partir de cables o construcciones similares.

NOTA 3 – La especificación de PMD_Q no se debe aplicar a cables cortos, como los cables de conexión, de interior o de bajada.

7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen principalmente por los requisitos PMD y las características de dispersión cromática. Véase el apéndice I para ampliar información sobre las distancias de transmisión y las velocidades binarias en relación con los requisitos PMD.

El cuadro 1, "G.655.A Atributos" y el cuadro 2, "G.655.B Atributos", aparecen en la versión 2003 de esta Recomendación.

El cuadro 3, "G.655.C Atributos", mantiene la especificación original "en tipo de caja" para el coeficiente de dispersión, el cual permite una referencia a las fibras con dispersión negativa que puedan adecuarse como parte de los enlaces de gestión de la dispersión, como los usados en

sistemas submarinos. Asimismo, soporta Recomendaciones de interfaz óptico, tales como las Recs. UIT-T G.691, G.959.1 y G.693. Para sistemas de DWDM, se soportan las separaciones de canal definidas en la Rec. UIT-T G.694.1, dependiendo de la dispersión mínima seleccionada. Los requisitos de PDM permiten el funcionamiento de los sistemas STM-64 hasta longitudes de 2000 km, dependiendo del resto de elementos del sistema.

El cuadro 4, "G.655.D Atributos", define los requisitos del coeficiente de dispersión cromática como un par de curvas limitantes en función de la longitud de onda para valores de ésta comprendidos entre 1460 nm y 1625 nm. Para longitudes de onda superiores a 1530 nm, la dispersión es positiva y de magnitud suficiente como para eliminar la mayoría de degradaciones no lineales, soportándose asimismo las aplicaciones mencionadas en el cuadro 3. Para longitudes de onda inferiores a 1530 nm, la dispersión cruza el valor cero, si bien la fibra puede utilizarse para soportar aplicaciones por CWDM en canales de 1471 nm y superiores.

El cuadro 5, "G.655.E Atributos", define los requisitos de la dispersión cromática de la misma manera que el cuadro 4, si bien posee valores más elevados que pueden ser importantes para algunos sistemas, por ejemplo para aquellos que presentan las menores separaciones de canal. Se soportan las aplicaciones mencionadas en el cuadro 3. Las fibras que cumplen dichos requisitos son positivas y distintas de cero para longitudes de onda superiores a 1460 nm.

NOTA – En muchas aplicaciones submarinas se pueden utilizar dichas fibras, consiguiéndose la total optimización en algunas de dichas aplicaciones mediante límites distintos de los aquí indicados. Un ejemplo podría ser permitir que la longitud de onda de corte del cable pueda tener valores tan altos como 1500 nm.

En el apéndice I se ilustran varios ejemplos de implementación que se diferencian por los valores de dispersión cromática, la pendiente de la dispersión y los distintos valores de coeficientes no lineales del enlace. Dichas opciones ilustran la posibilidad de establecer distintos equilibrios entre potencia, separación de canales, longitud del enlace, separación entre amplificadores y velocidad binaria.

Cuadro 3/G.655 – G.655.C Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	λ_{min} y λ_{max}	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de D_{min}	1,0 ps/nm·km
	Valor máximo de D_{max}	10,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
	$D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$	$\leq 5,0$ ps/nm·km
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1565-1625 nm	λ_{min} y λ_{max}	Debe determinarse
	Valor mínimo de D_{min}	Debe determinarse
	Valor máximo de D_{max}	Debe determinarse
	Signo	Positivo o negativo
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Véase la nota 1)
Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD_Q superiores (por ejemplo $\leq 0,5$ ps/$\sqrt{\text{km}}$) para aplicaciones específicas.</p>		

Cuadro 4/G.655 – G.655.D Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	± 0,6 μm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	± 1 μm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{7,00}{90}(\lambda - 1460) - 4,20$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{2,97}{75}(\lambda - 1550) + 2,80$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2,91}{90}(\lambda - 1460) + 3,29$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5,06}{75}(\lambda - 1550) + 6,20$
Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/√km
<p>NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD_Q superiores (por ejemplo ≤ 0,5 ps/√km) para aplicaciones específicas.</p>		

Cuadro 5/G.655 – G.655.E Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	± 0,6 μm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	± 1 μm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5,42}{90}(\lambda - 1460) + 0,64$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,30}{75}(\lambda - 1550) + 6,06$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4,65}{90}(\lambda - 1460) + 4,66$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{4,12}{75}(\lambda - 1550) + 9,31$
Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/√km
<p>NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD_Q superiores (por ejemplo ≤ 0,5 ps/√km) para aplicaciones específicas.</p>		

Apéndice I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cables de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Las cláusulas siguientes deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en I.5 se presentan valores típicos de cables de fibra óptica. La cláusula I.6 contiene ejemplos de implementaciones en las que los valores típicos de la dispersión cromática varían de un ejemplo a otro. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

I.1 Atenuación

La atenuación A de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

donde:

α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace

α_s atenuación media por empalme

x número de empalmes de un enlace

α_c atenuación media de los conectores de línea

y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)

L longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de enlaces de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

Cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm, a menudo se emplea alguna forma de compensación de la dispersión cromática. En este caso, en el diseño se utiliza la dispersión cromática media del enlace. La relación se describe en términos del coeficiente de dispersión cromática típico y del coeficiente de la pendiente de la dispersión a 1550 nm.

Los valores típicos del coeficiente de dispersión cromática, D_{1550} , y del coeficiente de pendiente de dispersión cromática, S_{1550} , a 1550 nm varían en función de la implementación. En la cláusula I.6 pueden encontrarse valores típicos. Estos valores, junto con la longitud del enlace, L_{Link} , pueden ser utilizados para calcular la dispersión típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (ps / nm)$$

I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por lo tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites, estando todo ello documentado en CEI/TR 61282-3. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

- Longitud del enlace de referencia (L_{Ref} , *reference link length*): es la longitud máxima del enlace a la que se aplica la DGD máxima y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.
- Longitud de cable máxima típica (L_{Cab} , *typical maximum cable length*): los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.
- DGD máxima, $DGD_{m\acute{a}x}$: valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.
- Probabilidad máxima, P_F : probabilidad de que el valor DGD real supere $DGD_{m\acute{a}x}$.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analiza en CEI/TR 61282-3.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recs. UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos dependen de la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2 son representativos de cables de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Se pretende que los valores del DGD máximo inducido en la fibra indicados en el cuadro I.2 sirvan de orientación con respecto a los requisitos de los demás elementos ópticos que pueden formar parte del enlace.

Cuadro I.1/G.655 – Valores de atenuación del enlace

Coefficiente de atenuación	Región de la longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1550 nm-1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm-1625 nm	0,35 dB/km

NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.692.

Cuadro I.2/G.655 – Retardo diferencial de grupo

PMD _Q máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo inducido en la fibra (ps)	Velocidades binarias del canal
No especificado			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota 1)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s

NOTA 1 – Este valor también es aplicable a los sistemas Ethernet de 10 Gigabit.
 NOTA 2 – La longitud de la sección de cable es de 10 km, salvo para el enlace 0,10 ps/√km, > 4000 km, para el cual es de 25 km, el nivel de probabilidad es de $6,5 \cdot 10^{-8}$.

I.6 Ejemplos de implementación

Se incluyen a continuación ejemplos de implementaciones diseñadas para optimizar varios de los posibles balances entre potencia, separación de canales, separación de amplificadores, longitud del enlace y velocidad binaria. Todos estos ejemplos son básicamente variaciones de la dispersión cromática, la pendiente de dispersión y el coeficiente no lineal permitidos. Sólo se trata de ejemplos, que no impiden que existan otras implementaciones. Los identificadores de los ejemplos son arbitrarios y no reflejan prioridad alguna.

Cuadro I.3/G.655 – Ejemplos para $\lambda_{\min} = 1530$ nm y $\lambda_{\max} = 1565$ nm

ID del ejemplo	D_{\min} (ps/nm·km)	D_{\max} ps/nm·km)	Signo	Coefficiente de dispersión típico a 1550 nm (ps/nm·km)	Pendiente de dispersión típica a 1550 nm (ps/nm ² ·km)
A	1,3	5,8	+	3,7	0,070
B	2,0	6,0	+	4,2	0,085
C	2,6	6,0	+	4,4	0,045
D	5,0	10,0	+	8,0	0,058
E	1,0	6,0	-	-2,3	0,065

NOTA – Se están estudiando los valores de dispersión cromática en la región de longitudes de onda de 1600 nm.

I.7 Límites del coeficiente de dispersión cromática para los cuadros D y E

Las ecuaciones que limitan el coeficiente de dispersión cromática en función de la longitud de onda se basan en dos análisis, uno realizado para las fibras representadas en el cuadro D y otro para las fibras representadas en el cuadro E, con cinco y cuatro fabricantes respectivamente. Cada uno de ellos proporcionó una desviación media y típica en función de la longitud de onda para valores de ésta comprendidos entre 1460 y 1625 nm, con incrementos de 5 nm, habiéndose calculado, para la longitud de onda y el fabricante, tres desviaciones típicas por encima y por debajo de la media. Posteriormente se determinó el mínimo y el máximo con respecto a los fabricantes. Los resultados se proporcionaron mediante un ajuste de ranura lineal con puntos de corte en 1550 nm, para minimizar la suma de los valores absolutos de la diferencia y mantener el principio de inclusión de todos los datos dentro de la envolvente.

Los resultados de los cuadros D y E se muestran en las figuras I.1 y I.2, respectivamente. Las líneas continuas son los límites de la cláusula 7. El resto de los datos representan los resultados del análisis.

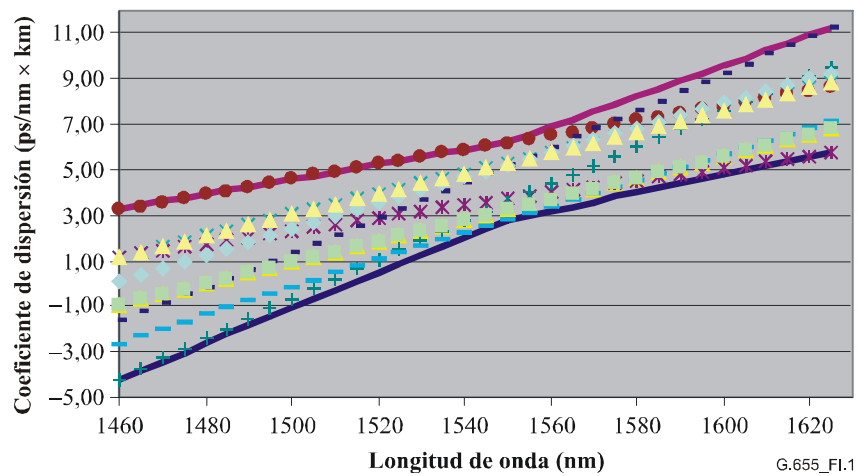


Figura I.1/G.655 – Límites de dispersión de la fibra del cuadro D

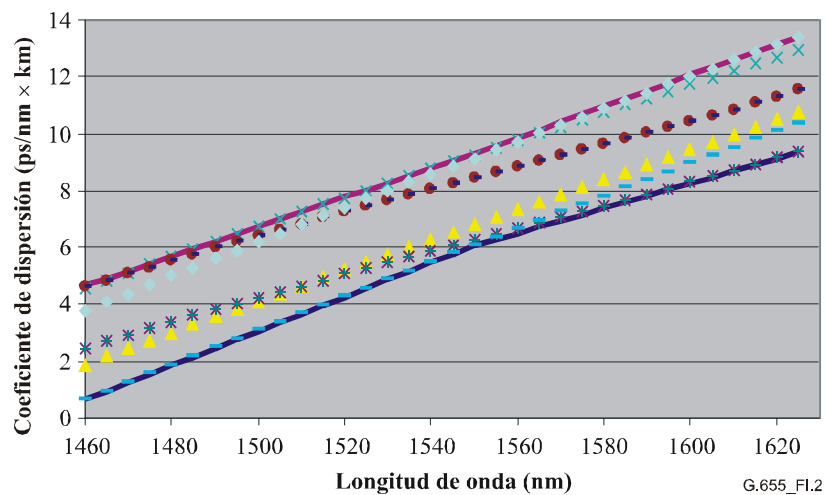


Figura I.2/G.655 – Límites de dispersión de la fibra del cuadro E

Los límites de la cláusula 7 son para fibras individuales. La gama de valores asociados a los enlaces que son una concatenación de fibras individuales puede ser menor. Para las fibras de tipo G.652, cuyos valores varían poco en función del fabricante, se puede usar la media más una desviación típica, tal y como se describe en el Suplemento 39 a las Recomendaciones UIT-T de la serie G, a efectos de limitación del sistema.

La metodología detallada anteriormente se aplicó para determinar las curvas limitantes que incluyen todos los resultados referidos a la media con una desviación típica por encima o por debajo de la misma. Las figuras I.3 y I.4 muestran gráficamente dichos resultados, incluyendo asimismo a título comparativo los datos referidos a tres desviaciones típicas por encima o por debajo de la media. Las ecuaciones que delimitan los resultados del análisis de una desviación típica por encima o por debajo de la media se proporcionan en los cuadros I.4 y I.5.

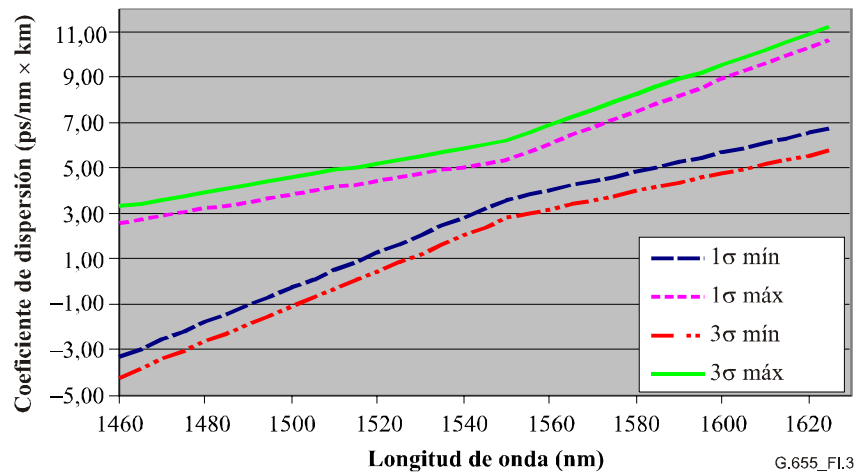


Figura I.3/G.655 – Comparación de los límites de la fibra del cuadro D

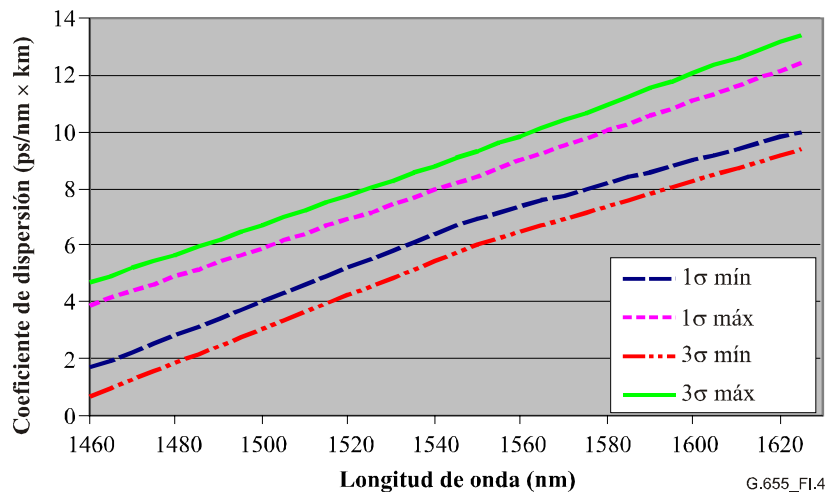


Figura I.4/G.655 – Comparación de los límites de la fibra del cuadro E

Cuadro I.4/G.655 – Fibra del cuadro D ± límites de una desviación típica

Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{6,94}{90}(\lambda-1460)-3,34$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,13}{75}(\lambda-1550)+3,60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2,78}{90}(\lambda-1460)+2,60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5,28}{75}(\lambda-1550)+5,38$

Cuadro I.5/G.655 – Fibra del cuadro E ± límites de una desviación típica

Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5,28}{90}(\lambda-1460)+1,68$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,05}{75}(\lambda-1550)+6,96$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4,56}{90}(\lambda-1460)+3,89$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,96}{75}(\lambda-1550)+8,45$

BIBLIOGRAFÍA

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

Anexo 21: Normativa G692 de la UIT-T

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.692

Enmienda 1
(01/2005)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión –
Características de los componentes y los subsistemas
ópticos

Interfaces ópticas para sistemas multicanales con
amplificadores ópticos

Enmienda 1

Recomendación UIT-T G.692 (1998) – Enmienda 1

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
Generalidades	G.7000–G.7099
Codificación de señales analógicas mediante modulación por impulsos codificados (MIC)	G.7100–G.7199
Codificación de señales analógicas mediante métodos diferentes de la MIC	G.7200–G.7299
Características principales de los equipos multiplex primarios	G.7300–G.7399
Características principales de los equipos multiplex de segundo orden	G.7400–G.7499
Características principales de los equipos multiplex de orden superior	G.7500–G.7599
Características principales de los transcodificadores y de los equipos de multiplicación de circuitos digitales	G.7600–G.7699
Características de operación, administración y mantenimiento de los equipos de transmisión	G.7700–G.7799
Características principales de los equipos multiplex de la jerarquía digital síncrona	G.7800–G.7899
Otros equipos terminales	G.7900–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.692

Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos

Enmienda 1

Resumen

La presente enmienda modifica el texto de la Rec. UIT-T G.692 (1998) con objeto de aclarar la ambigüedad en la definición de la sensibilidad del receptor de la cláusula 6.8.1.

Orígenes

La enmienda 1 a la Recomendación UIT-T G.692 (1998) fue aprobada el 13 de enero de 2005 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2005

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

Recomendación UIT-T G.692

Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos

Enmienda 1

Modifíquese la cláusula 6.8.1 del modo siguiente:

6.8.1 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad del receptor se define como el valor mínimo de la potencia media recibida en el punto R_n para lograr una BER de 1×10^{-12} . ~~Tiene en cuenta las penalizaciones de potencia causadas por la utilización del~~ Este requisito se ha de cumplir para un transmisor en condiciones de funcionamiento normalizado con los valores del caso más desfavorable de la plantilla del diagrama del ojo del transmisor, la relación de extinción, ~~de los tiempos de establecimiento y caída del impulso~~, de las pérdidas de retorno ópticas en los puntos S_n , de las degradaciones en el conector del receptor, la diafonía óptica, el ruido del amplificador óptico y la tolerancia de las medidas. La sensibilidad del receptor ~~no tiene por qué cumplirse cuando haya~~ incluye la penalización de potencia asociada a la dispersión, a la fluctuación de fase o a las reflexiones ~~en~~ en el trayecto óptico; estos efectos se especifican por separado en la asignación de la máxima penalización del trayecto óptico.

NOTA – La sensibilidad del receptor no tiene por qué cumplirse cuando haya una fluctuación de fase del transmisor superior al correspondiente límite de generación de fluctuación de fase (por ejemplo, para señales afluente ópticas de la SDH de la Rec. UIT-T G.783).

Los efectos debidos al envejecimiento no se especifican por separado ya que normalmente éstos se perciben en función de la relación existente entre el momento de inicio de la vida del equipo, la temperatura nominal de trabajo del mismo y el final de su vida útil, siendo deseable que, en el caso más desfavorable, su impacto esté comprendido entre 2 y 4 dB. La sensibilidad del receptor especificada en esta Recomendación corresponde al caso más desfavorable de un equipo al final de su vida útil.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

Anexo 22: Normativa G694.2 de la UIT-T



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.694.2

(06/2002)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión –
Características de los componentes y los subsistemas
ópticos

**Planes espectrales para las aplicaciones de
multiplexación por división de longitud de onda:
Plan de longitudes de onda con multiplexación
por división aproximada de longitud de onda**

Recomendación UIT-T G.694.2

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.694.2

Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de longitudes de onda con multiplexación por división aproximada de longitud de onda

Resumen

En esta Recomendación se presenta el plan de longitudes de onda para las aplicaciones de multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM). Este plan de longitudes de onda soporta un espaciado de canales de 20 nm.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.694.2, preparada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 13 de junio de 2002.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2002

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencias normativas	1
2.2 Referencias informativas	1
3 Definiciones.....	1
3.1 Términos definidos en esta Recomendación	1
3.2 Términos definidos en otras Recomendaciones	2
4 Abreviaturas y siglas.....	2
5 WDM aproximada y sus aplicaciones	2
6 Longitudes de onda centrales nominales para sistemas con WDM aproximada.....	2
Apéndice I – Espaciamiento de la longitud de onda central y variación de la longitud de onda	3
Apéndice II.....	4

Recomendación UIT-T G.694.2

Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de longitudes de onda con multiplexación por división aproximada de longitud de onda

1 Alcance

Esta Recomendación tiene por objeto definir un plan de longitudes de onda para soportar aplicaciones de multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM). Este plan hace posible la transmisión simultánea de varias longitudes de onda con una separación suficiente para permitir la utilización de fuentes sin dispositivos de refrigeración.

2 Referencias

2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones, por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- [1] Recomendación UIT-T G.671 (2002), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos*.

2.2 Referencias informativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T contienen otras informaciones pertinentes.

- [2] Recomendación UIT-T G.983.3 (2001), *Sistema de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante atribución de longitud de onda*.
- [3] Recomendación UIT-T J.185 (2002), *Equipo de transmisión para transferir señales de televisión multicanal a través de redes de acceso óptico mediante conversión MF*.
- [4] Recomendación UIT-T J.186 (2002), *Equipo de transmisión para señales de televisión multicanal a través de redes de acceso mediante multiplexación de subportadoras*.

3 Definiciones

3.1 Términos definidos en esta Recomendación

En esta Recomendación se define el término siguiente.

3.1.1 plan de longitudes de onda: Conjunto de referencia de longitudes de onda ópticas en el vacío que sirve para indicar las longitudes de onda centrales nominales permitidas que pueden utilizarse en la definición de las aplicaciones.

3.2 Términos definidos en otras Recomendaciones

En esta Recomendación se utilizan los siguientes términos definidos en la Rec. UIT-T G.671:

- Multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM, *coarse wavelength division multiplexing*).
- Multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*).

4 Abreviaturas y siglas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

CWDM Multiplexación por división aproximada de longitud de onda (*coarse wavelength division multiplexing*)

DWDM Multiplexación por división de longitud de onda densa (*dense wavelength division multiplexing*)

WDM Multiplexación por división de longitud de onda (*wavelength division multiplexing*)

5 WDM aproximada y sus aplicaciones

La multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM), una tecnología del tipo WDM, se caracteriza por un espacio más ancho entre canales que en la tecnología WDM densa (DWDM), tal como se define en la Rec. UIT-T G.671. Los sistemas CWDM permiten aplicaciones rentables, gracias a una combinación de láser sin dispositivos de refrigeración, tolerancias de selección de longitudes de onda láser menos exigentes, y filtros pasobanda amplios.

Los sistemas CWDM se pueden utilizar en las redes de transporte metropolitanas y como plataforma integrada para una diversidad de clientes, servicios y protocolos.

En el apéndice I se presenta una explicación de las razones por las que se escoge el espaciamiento de longitud de onda central y los factores que determinan la variación de dicha longitud de onda.

6 Longitudes de onda centrales nominales para sistemas con WDM aproximada

En el cuadro 1 se indica el plan de longitudes de onda CWDM en la gama que abarca de 1270 nm a 1610 nm. Se debe utilizar un valor 'c' (velocidad de la luz en el vacío) para la conversión entre longitud de onda y frecuencia igual a $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Cuadro 1/G.694.2 – Longitudes de onda centrales nominales

Longitudes de ondas centrales nominales (nm) para un espaciamento de 20 nm
1270
1290
1310
1330
1350
1370
1390
1410
1430
1450
1470
1490
1510
1530
1550
1570
1590
1610
NOTA – Los puntos extremos de este cuadro se presentan a título informativo solamente.

Apéndice I

Espaciamento de la longitud de onda central y variación de la longitud de onda

Las aplicaciones eficaces de CWDM, que utilizan láser sin sistemas de refrigeración y filtros pasobanda anchos, requieren un espaciamento de longitud de onda central nominal de al menos 20 nm. Se espera que una variación total de la longitud de onda de la fuente de aproximadamente $\pm 6-7$ nm sea compatible con las tecnologías existentes para los filtros. Tal como ocurre con la banda de guarda, basta con un tercio del espaciamento mínimo entre canales y, por lo tanto, se ha escogido el valor de 20 nm con el fin de maximizar la cantidad de canales.

Se han de definir valores y atribuciones específicos para esta variación en cada aplicación.

La variación de longitud de onda depende fundamentalmente de dos factores: primero, el fabricante del sistema láser puede variar la longitud de onda alrededor de la longitud de onda nominal con el fin de obtener un mayor rendimiento y/o reducir las tolerancias de fabricación. Segundo, la utilización de láser sin refrigeración hará variar la longitud de onda en función de la temperatura, dentro de la gama de temperaturas especificadas para el láser.

Apéndice II

En la Rec. UIT-T G.983.3 (marzo de 2001) se define la atribución de longitudes de onda para las señales de distribución de vídeo multiplexadas en las redes ópticas pasivas de banda ancha (B-PON). En las Recomendaciones UIT-T J.185 y J.186 (febrero de 2002) se define la atribución de longitudes de onda para la transferencia de señales de televisión multicanal.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación