

621.3851
MAS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Aplicación de la Técnica DWDM en el Sistema
Troncal de Transmisión Guayaquil - Quito
(Ruta de la Costa)^{PP}

TOPICO DE GRADUACION
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIZACION
ELECTRONICA



PRESENTADO POR:

Marisol Massuh Quimi
Mercedes Medina Morales
Jabían Rojas Guerra

Guayaquil - Ecuador
2002

AGRADECIMIENTO



Agradecemos principalmente a Dios por amarnos, iluminarnos, guiarnos y bendecimos en todo momento.

A nuestros padres por su amor, comprensión, apoyo y esfuerzo.

Y al Ing. Molineros, por dirigimos en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, a mis Padres: Manuel Massuh y Margarita Quimí que con su apoyo total han logrado de mí la persona que hoy soy, y a las personas que de verdad me quieren. Eternamente Gracias!

Marisol Massuh Quimí.

Dedico este trabajo a mis amados padres y hermanos.

Ustedes representan mi fortaleza a través de sus sabios consejos, genuina comprensión y constante apoyo. ¡Los amo!

Mercedes Medina Morales.

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, a mi esposa y a mi hijo.

Fabián Rojas Guerra.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



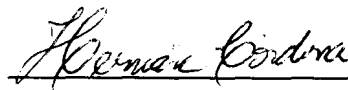
Ing. Carlos Monsalve
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Molineros
DIRECTOR DE TÓPICO



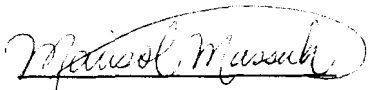
Ing. César Yépez
VOCAL PRINCIPAL



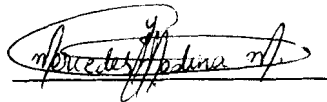
Ing. Hernán Córdova
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

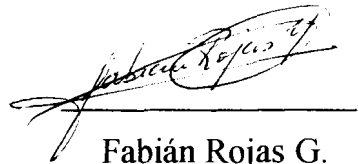
“La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Tópico, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



Marisol Massuh Q.



Mercedes Medina M.



Fabián Rojas G.

RESUMEN

En este trabajo presentamos una tecnología de transmisión llamada DWDM basada en la multiplexación por división de longitud de onda que por su gran capacidad de transporte y por su alta velocidad de transmisión ha superado por completo a las otras tecnologías.

Es por ello que es utilizada para nuestro diseño de red en el sistema troncal de Pacifictel que cubre el tramo: Guayaquil, Salinas, Manta, Quevedo, Santo Domingo y Quito que forma el anillo costa; proyecto que previene la necesidad futura de la red en el aumento sustancial de tráfico debido a las altas demandas de ancho de banda que no podrían ser soportadas por la actual tecnología SDH, optimizándose en parte los costos ya que utilizamos la fibra óptica existente como base de la nueva red.

Cabe señalar que en un inicio los costos de los componentes serán elevados; pero esto en un futuro no muy lejano serán optimizados por la alta capacidad de transporte que provee esta técnica además de brindar gran fiabilidad, por tratarse de un medio puramente óptico. A su vez esta puede utilizarse como plataforma futura con proyectos de tecnología moderna.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	XIX
ÍNDICE DE FIGURAS	XXIII
ÍNDICE DE TABLAS	XXVIII

INTRODUCCIÓN	1
---------------------	----------

CAPÍTULO I

1. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN	2
1.1 Introducción	2
1.2 Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH)	3
1.2.1 Características Generales	3
1.2.1.1 Jerarquía de Multiplexación PDH	5
1.2.1.2 Jerarquía de Multiplexación Europea	5
1.2.1.3 Capacidad de Canales	6
1.2.1.4 Señalización de la Jerarquía Europea	6
1.2.1.5 Aplicaciones de PDH	7
1.2.1.6 Ventajas de PDH	7
1.2.1.7 Desventajas de PDH	8



1.3 Jerarquía Digital Síncrona (SDH)	8
1.3.1 Características Generales	8
1.3.1.1 Jerarquía de Multiplexación SDH	9
1.3.1.2 Aplicaciones de la SDH	10
1.3.1.3 Ventajas de la SDH	12
1.3.1.4 Desventajas de la SDH	13
1.4 Comparación entre PDH y SDH	14
1.5 Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)	15
1.5.1 Características Generales	15
1.5.1.1 Aplicaciones de WDM	16
1.5.1.2 Ventajas de WDM	17
1.5.1.3 Desventajas de WDM	18
1.6 Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM)	18
1.6.1 Características Generales	18
1.6.1.1 Aplicaciones de DWDM	19
1.6.1.2 Ventajas de DWDM	20
1.6.1.3 Desventajas de DWDM	22
CAPÍTULO II	
2. TECNOLOGÍA DWDM	23
2.1 Origen de DWDM	23
2.2 Incremento en la Capacidad de Transmisión de la Fibra Óptica	24

2.3 Evolución de DWDM	25
2.4 Definición de la Técnica DWDM	27
2.5 Rejilla de Transmisión para DWDM definidos por la ITU-T	29
2.6 Capas del Sistema DWDM	29
2.7 Funciones del Sistema DWDM en la Capa Física	29
2.7.1 Emisión	30
2.7.2 Multiplexación	30
2.7.3 Transmisión	31
2.7.4 Demultiplexación	31
2.7.5 Recepción	31
2.8 Funciones del Sistema DWDM en la Capa Óptica	32
2.8.1 Canal Óptico (OCh)	32
2.8.1.1 La Unidad de la Carga Útil del Canal Óptico (OPU)	33
2.8.1.2 Unidad de Datos del Canal Óptico (ODU)	34
2.8.1.3 Unidad de Transporte del Canal Óptico (OTU)	37
2.8.2 Sección Múltiplex Óptica (OMS)	39
2.8.3 Sección de Transporte Óptico (OTS)	40
2.9 Multiplexación y Demultiplexación Óptica	41
2.10 Componentes de DWDM	43
2.11 Estructura General del Sistema DWDM	44
2.12 DWDM Sistema de Arquitectura Abierta	45
2.13 Aplicaciones de DWDM	46



CAPÍTULO III

3. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA PARA DWDM	48
3.1 Antecedentes de la Fibra Óptica	48
3.2 El Espectro Óptico	49
3.3 Ventanas de Operación de la Fibra Óptica	51
3.4 Leyes Fundamentales de la Óptica	52
3.4.1 Ley de Refracción	52
3.4.2 Ley de Reflexión	54
3.4.2.1 Índice de Refracción	55
3.4.2.2 Ángulo Crítico	56
3.5 Difracción	57
3.6 Estructura de la Fibra Óptica	58
3.7 Refracción y Reflexión de la Luz en la Fibra Óptica	59
3.8 Propagación de la luz en la Fibra Óptica	60
3.9 Ventajas y Desventajas de la Fibra Óptica	61
3.9.1 Ventajas de la Fibra Óptica	61
3.9.2 Desventajas de la Fibra Óptica	63
3.10 Tipos de Fibra Óptica	63
3.10.1 Fibra Multimodo	63
3.10.1.1 Multimodo de Índice Escalonado	64
3.10.1.2 Multimodo de Índice Gradual	64



3.10.2 Fibra Monomodo	65
3.11 Tamaño de las Fibras Ópticas	65
3.12 Parámetros de la Fibra Óptica	66
3.12.1 Ángulo y Cono de Aceptación	66
3.12.2 Apertura Numérica (AN)	67
3.12.3 Perfil del Índice de Refracción (n)	68
3.12.4 Dimensiones del Núcleo y del Revestimiento	69
3.12.5 Diámetro del Campo Modal	69
3.12.6 Error de Concentricidad	70
3.12.7 Error de No Circularidad	70
3.13 Parámetros Mecánicos del Cable	71
3.13.1 Tipo de Cable de Fibra Óptica	71
3.13.2 Número de Fibra Óptica	72
3.13.3 Longitud del Cable	72
3.13.4 Calidad de las Uniones	72
3.14 Problemas en la Transmisión	72
3.15 Atenuación	73
3.15.1 Factores que producen Atenuación	75
3.15.1.1 Absorción del Material	75
3.15.1.2 Pérdidas por Dispersión Lineal	76
3.15.1.3 Pérdidas por Curvaturas	77
3.15.1.4 Pérdidas en Empalmes y Conectores	78

3.16	Dispersión	79
3.16.1	Dispersión Cromática	79
3.17	Efectos No Lineales	83
3.17.1	Dispersión por Modo de Polarización (PMD)	84
3.17.2	Dispersión Estimulada de Raman (SRS)	86
3.17.3	Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS)	87
3.17.4	Auto Modulación de Fase (SPM)	87
3.17.5	Modulación de Fase Cruzada (XPM)	87
3.17.6	Inestabilidad de Modulación (MI)	88
3.17.7	Mezcla de Cuatro Ondas (FWM)	89
3.17.7.1	Control Del Efecto FWM	90
3.18	Fibras con Dispersión Modificada	90
3.19	Tipos de Fibra Óptica para DWDM	91
3.19.1	Fibra Estándar (SSMF)	91
3.19.2	Fibra de Dispersión Desplazada (DSF)	92
3.19.3	Fibra de Dispersión Desplazada No Cero (NZDSF)	92
3.20	Cable Óptico	94
3.20.1	Selección de Cable Óptico	95
3.21	Conectores	96
3.21.1	Tipos de Conectores	97
3.21.1.1	Fiber Conector (Fc)	97
3.21.1.2	Suscriber Conector (Sc)	98

3.21.2 Propiedades para Elegir un Conector	98
3.22 Empalmes	99
3.22.1 Parámetros de un Empalme de Fusión	103
CAPITULO IV	
COMPONENTES ÓPTICOS	104
4.1 Introducción	104
4.2 Emisores o Fuentes de Luz	105
4.2.1 Características del Láser	106
4.2.2 Láseres	108
4.2.2.1 Láseres de Frecuencia Única	110
4.2.2.2 Láseres Multifrecuencias Sintonizables	111
4.2.2.3 Láseres de Retroalimentación Distribuida (DFB)	117
4.3 Receptores o Detectores de Luz	120
4.4 Multiplexores y Demultiplexores Ópticos	123
4.5 Multiplexor Óptico de Inserción /Extracción (OADM)	124
4.6 Filtros Ópticos	125
4.6.1 Características de los Filtros	126
4.6.2 Técnicas de Filtrado Óptico	126
4.6.3 Aplicaciones del Filtro Óptico	127
4.6.4 Tipos de Filtros Ópticos	128
4.6.4.1 Filtros Ópticos Fijos	128

4.6.4.2 Filtros Ópticos Sintonizables	128
4.7 Amplificador Óptico	129
4.7.1 Definición	129
4.7.2 Características del Amplificador Óptico	130
4.7.3 Amplificador Semiconductor (SOA)	131
4.7.4 EDFAs	132
4.7.4.1 Características de un EDFA	133
4.7.4.2 Bandas de Operación de un EDFA	134
4.7.4.3 Rango de Funcionamiento del EDFA	136
4.7.4.4 Ventajas del EDFA	137
4.7.4.5 Desventajas del EDFA	138
4.7.4.6 Clasificación de los Amplificadores de Fibra Óptica	140
4.8 Convertidor de Longitud de Onda	142
4.9 Otros Componentes para DWDM	143
CAPITULO V	
DISEÑO DE LA RED	146
5.1 Situación Actual	146
5.2 Criterios para el Dimensionamiento de la Red DWDM	147
5.2.1 Determinación de la Topología de la Red	148
5.2.2 Características de Protección	150
5.2.3 Selección de los Equipos a Instalarse	151

5.2.4 Sistema de Administración	151
5.3 Matrices de Tráfico entre Los Nodos	152
5.4 Proyección de las Matrices de Tráfico a 10 Años	153
5.5 Detalles de la Ruta y Recorrido de la Fibra Óptica	156
5.5.1 Fibra Utilizada en el Trayecto	159
5.5.1.1 Detalle de la Fibra Óptica	160
5.5.1.2 Características Técnicas de la Fibra Óptica	160
5.5.1.3 Cable Enterrado	162
5.5.1.4 Cable Aéreo	164
5.5.1.5 Cable Canalizado	166
5.6 Cálculo de Atenuación y Dispersión	168
5.7 Características Generales del Equipo DWDM	187
5.8 Características de la Señal de Entrada	188
5.8.1 Señales Ópticas Estándar	188
5.8.2 Señales Pre-Coloreada	188
5.9 Convertidor de Longitud de Onda	188
5.10 Diseño Funcional	190
5.10.1 Lado de Transmisión	191
5.10.2 Lado de Recepción	191
5.10.3 Canal de Supervisión	192
5.11 Longitud de Ondas Usadas por el Equipo	193
5.12 Longitudes de Ondas Usadas en el Diseño	195

5.13 Repetidor OADM	195
5.14 Interfaces Ópticas	196
5.15 Interfaces Eléctricas	196
5.15.1 Interfaz F	196
5.15.2 Interfaz Q	196
5.16 Protección Óptica del Sistema	197
5.16.1 ALS	197
5.17 Administración del Sistema	198
5.18 Protección de la Red	198
5.19 Especificaciones Técnicas del Equipo	198
5.20 Presupuesto del Sistema de Transmisión DWDM	199



CAPITULO VI

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	201
6.1 Especificaciones	201
6.2 Instalación	202
6.2.1 Instalación del Cable de Fibra Óptica	202
6.2.2 Instalación de los Equipos de Transmisión	204
6.2.3 Instalación del Resto de Equipos y Cableado	204
6.3 Mantenimiento y Mediciones	205
6.4 Equipos de Medición	206
6.4.1 Localizador de Fallas	207

6.4.2 Fuente de Luz	207
6.4.3 Medidores de Potencia	208
6.4.4 Atenuadores Ópticos	209
6.4.5 ORLM	210
6.4.6 OTDR	210
6.4.7 Analizador de Espectro Óptico (OSA)	212
6.4.8 Analizador de Tasa de Error	218
6.4.9 Microscopio para Inspección	219
6.5 Fallas más comunes en los Sistemas DWDM	219
6.5.1 Degradación de Potencia en los Canales Ópticos (OCH)	220
6.5.2 Pérdida de la Señal Eléctrica	221
6.5.3 Problemas en el Receptor	221
6.5.4 Problemas en el Transmisor	222
6.5.5 Problemas en la Fibra Óptica	223
6.5.6 Problemas en el Amplificador Óptico	224
6.6 Suministro de Energía	225
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	227
ANEXO A	229
ANEXO B	235

ANEXO C	237
ANEXO D	239
ANEXO E	247
GLOSARIO	286
BIBLIOGRAFÍA	288

ABREVIATURAS

ADM: Multiplexor add/drop

AN: Apertura Numérica

APD: Fotodiodo de avalancha

APS: Protección por Conmutación Automática

APSD: Apagado automático (Automatic Power Shutdown)

ASE: Ruido de Emisión espontánea

ATM: Modo de Transporte Asíncrono

BER: tasa de error de bits

c: Velocidad de la luz en el vacío

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código

DFB: Láser de retroalimentación distribuida

DSF: Fibra de dispersión modificada

DWDM: Multiplexación de Longitud de Onda Densa

E1: Estándar europeo para señalar la velocidad de transmisión en 2.048 Mbps.

E1: Mínima velocidad de transmisión (2.048 Mbps) de la jerarquía europea

EDFA: Amplificador de Fibra Óptica dopada con erbio

EPS: Protección por conmutación de equipo

FBG: Rejilla de fibra Bragg (Fiber Bragg Grating)

FC: Conector de fibra

FEC: Corrección de error hacia adelante (Forward Error Correction)

FWM: Mezcla de cuatro longitudes de onda

IP: Protocolo de Internet

LAN: Red de Área Local

LAPD: Protocolo de Acceso al Enlace por canal D.

LOS: Pérdida de la señal óptica

MAN: Red de área metropolitana

MP: Inestabilidad de modulación

NE: Elementos de Red

NZ- DSF: Fibra de dispersión modificada no cero

OA: Amplificador óptico

OADM: Multiplexores Ópticos add/drop

OBA: Amplificador óptico booster

Och: Canal Óptico

ODF: Distribuidor de fibra óptica

ODU: Unidad de datos del canal óptico

ODU-OH: Overhead ODU

OLA: Amplificador de Línea Óptico

OMS: Sección Múltiplex Óptica

OPA: Preamplificador óptico

OPU: Unidad de la carga útil del canal óptico

OPU-OH: Overhead OPU

ORLM: Medidor de pérdidas de retorno ópticas

OSA: Amplificador Semiconductor Óptico

OSC: Canal de Supervisión óptico

OSNR: Relación señal óptica y ruido

OTDR: Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo

OTN: Red de transmisión óptica

OTS: Sección de Transporte Óptico

OTU: Unidad de transporte del canal óptico

OTU-OH: Overhead OTU

OXC: Switch Óptico

PDFA: Amplificador de fibra dopada con praseodimio

PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona

PIN: Fotodiodo positivo intrínscico negativo

PMD: Dispersión por modo de polarización

PON: Redes ópticas pasivas

PPS: Protección por Conmutación de Trayectoria

RDSI: Red de Servicios Integrados

RIN: Intensidad de ruido relativo

SBS: Dispersión Estimulada de Brillouin

SDH: Jerarquía Digital Síncrona

SOA: Amplificador semiconductor óptico

SPM: Automodulación de fase

SRS: Dispersión Estimulada de Ramman

SSMF: Fibra monomodo estándar

STM: Módulo de Transporte Síncrono

T1: Mínima velocidad de transmisión (1.544 Mbps) de la jerarquía americana

TDM: Multiplexación Digital en el Tiempo

TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo

TM: Multiplexor Terminal

TOF: Filtro óptico sintonizable

UIT-T: Sector de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

WAN: Red de Área Amplia

WDM: Multiplexación de Longitud de Onda

WDMA: Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda

XMP: Modulación de fase cruzada



INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Multiplexación de la Jerarquía Europea de PDH	5
Figura 1.2: Integración de tecnologías de telecomunicaciones en SDH	11
Figura 1.3: Transporte en DWDM	19
Figura 1.4: Incremento de la Capacidad de DWDM	22
Figura 2.1: Baja Utilización de la Fibra Óptica	24
Figura 2.2: Alta Disponibilidad de la Capacidad de la Fibra Óptica	25
Figura 2.3: Máxima Utilización de la Capacidad	25
Figura 2.4: Evolución de DWDM	26
Figura 2.5: Esquema del Funcionamiento de DWDM	30
Figura 2.6: Capas de una Red de Transmisión Óptica	32
Figura 2.7: Sub-capas del Canal Óptico	33
Figura 2.8: Estructura de la Trama OPU	34
Figura 2.9: Estructura de la Cabecera ODU	35
Figura 2.10: Trama OTU	38
Figura 2.11: Sección Múltiplex Óptica	39
Figura 2.12: Sección de Transporte Óptico	40
Figura 2.13: Capas de red de Transmisión Óptica	41
Figura 2.14: Descomposición y Recomposición de los Colores	42
Figura 2.15: Multiplexado en Longitud de Onda	42
Figura 2.16: Estructura General del Sistema DWDM	45

Figura 2.17: Arquitectura Abierta-DWDM	45
Figura 3.1: Colores del Espectro Óptico	51
Figura 3.2: Ventanas de Operación de la Fibra Óptica	52
Figura 3.3: Refracción de la Luz	53
Figura 3.4: Reflexión de la Luz	54
Figura 3.5: Índice de Refracción	56
Figura 3.6: Casos de la Propagación de la Luz	56
Figura 3.7: Ángulo Crítico	57
Figura 3.8: Difracción de la Luz	58
Figura 3.9: Estructura de la Fibra Óptica	59
Figura 3.10: Principio de la Reflexión Total	60
Figura 3.11: Propagación de la Luz	61
Figura 3.12: Propagación de la Luz en una Fibra Multimodo	64
Figura 3.13: Propagación de la Luz en una Fibra Monomodo	65
Figura 3.14: Tamaño de las Fibras Ópticas	66
Figura 3.15: Cono y Ángulo de Aceptación	67
Figura 3.16: Perfil de Índice de Refracción	68
Figura 3.17: Error de Concentricidad	70
Figura 3.18: Error de No Circularidad	71
Figura 3.19: Atenuación de una Típica Fibra Óptica hecha de Silicio	74
Figura 3.20: Curva de Atenuación Total	74
Figura 3.21: Absorción en la Fibra Óptica	75

Figura 3.22: Dispersión Rayleigh	76
Figura 3.23: Dispersión	79
Figura 3.24: Dispersión Cromática	81
Figura 3.25: Dispersión Cromática de tres diferentes Tipos de Fibra	81
Figura 3.26: PMD en una Fibra Monomodo	85
Figura 3.27: Fenómeno de SRS	86
Figura 3.28: Automodulación de Fase	87
Figura 3.29: Mezcla de Cuatro Ondas	89
Figura 3.30: Cables Ópticos	95
Figura 3.31: Conector FC	97
Figura 3.32: Conector SC	98
Figura 3.33: Máquinas Empalmadoras	100
Figura 3.34: Caja de Empalmes	102
Figura 4.1: DWDM punto a punto con algunos de los Componentes Ópticos	105
Figura 4.2: Transmisores y Receptores de Longitudes de Onda.	105
Figura 4.3: El Espectro y la Amplitud de la Señal dependen de la Temperatura	108
Figura 4.4:Modulación Externa de un Láser.	110
Figura 4.5: Láser Sintonizable	114
Figura 4.6: Láser Sintonizable DFB para 8 canales	118
Figura 4.7: Sensibilidad de los fotodiodos PIN y APD	122
Figura 4.8: OADM de cuatro canales add/drop.	124
Figura 4.9: Rejilla de Difracción	127

Figura 4.10: Filtros Sintonizables.	129
Figura 4.11: Funcionamiento de un SOA.	132
Figura 4.12: Curva Atenuación vs. Longitud de Onda.	136
Figura 4.13: Ganancia No Plana de los Amplificadores	140
Figura 4.14: Sistema de Amplificación.	142
Figura 4.15: Switches en Fibra Óptica.	143
Figura 4.16: Distribuidor de Fibra Óptica.	143
Figura 4.17: Atenuador de Fibra Óptica.	144
Figura 4.18: Adaptadores de Fibra Óptica.	144
Figura 4.19: Acoplador de Fibra Óptica Variables.	145
Figura 4.20: Aisladores de Fibra Óptica.	145
Figura 5.1: Administración de la Red	152
Figura 5.2: Vista Frontal de un Cable de Fibra Óptica para tendido enterrado	163
Figura 5.3: Cable de Fibra Óptica Aéreo	165
Figura 5.4: Cable de Fibra Óptica para canalizado	167
Figura 5.5: Convertidor de Longitudes de Onda	189
Figura 5.6: Convertidor de Longitud de Onda opcional	189
Figura 5.7: Equipos del Sistema DWDM	190
Figura 5.8: Proceso de Transmisión y Recepción de la señal DWDM	192
Figura 5.9: Canal de Supervisión Óptico	193
Figura 6.1: Indicadores de Fallas Visuales	207
Figura 6.2: Fuentes de Luz Láser.	208

Figura 6.3: Medidor de Potencia Portátil.	209
Figura 6.4: Atenuadores Ópticos	209
Figura 6.5: ORLM.	210
Figura 6.6: OTDR.	211
Figura 6.7: Analizador de Espectro Óptico.	212
Figura 6.8: Medida de Nivel de Potencia.	213
Figura 6.9: Medida de Longitud de Onda de Operación.	214
Figura 6.10: Medida de OSNR	215
Figura 6.11: Medida de Ganancia Inclínada.	216
Figura 6.12: Medida de Cross-talk/isolation.	217
Figura 6.13: Analizador de Tasa de Error.	218
Figura 6.14: Microscopio para Inspección de Fibra.	219

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Tipos de Multiplexación PDH	5
Tabla II: Evolución de la Jerarquía Europea	6
Tabla III: Niveles de la Jerarquía Europea	6
Tabla IV: Niveles de Multiplexación SDH	10
Tabla V: Velocidad de Transmisión en WDM	16
Tabla VI: Requerimientos del Láser Sintonizable	113
Tabla VII: Características del Láser Sintonizable	113
Tabla VIII: Ventajas y Desventajas del Láser	115
Tabla IX: Características del láser DFB	119
Tabla X: Recomendación UIT-T G.692	120
Tabla XI: Equipamiento requerido en la Red Troncal con tecnología DWDM	148
Tabla XII: Matriz de Tráfico EIs de las centrales que aportan tráfico a la ruta SDH Guayaquil-Quito.	153
Tabla XIII: Matriz de Tráfico EIs de las centrales que aportan tráfico a la ruta SDH Guayaquil-Quito (Proyección a 10 años)	155
Tabla XIV : Matriz de λ s que aportan tráfico a la ruta DWDM Guayaquil-Quito	156
Tabla XV : Detalle y recorrido de la fibra óptica entre las diferentes ciudades	157
Tabla XVI: Plan de Frecuencias y longitudes de onda establecidas en el equipo	194
Tabla XVII: Especificaciones Técnicas del Equipo	199
Tabla XVIII: Presupuesto del Sistema de Transmisión DWDM	199

INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento exponencial en los sistemas de transmisión, principalmente a la comunicación de datos (internet, videoconferencia) y a la aparición de servicios multimedia de nueva generación se ha dado lugar a un gran aumento en los requerimientos de ancho de banda en la red de transporte utilizada, quedando corta en su capacidad de transmisión. Una nueva técnica llamada DWDM resulta muy prometedora frente a estas limitaciones, proponiéndose mediante el presente trabajo mejorar la actual tecnología usada en Pacifictel, SDH, brindando una alternativa de solución para comunicar las centrales de tránsito Guayaquil y Quito conectándose la red también al Cable Panamericano por medio de la central Salinas.

Este estudio presenta desde los conceptos básicos, características, funcionamiento hasta la aplicación de la nueva técnica, que consiste en el diseño de una red DWDM para lo cual nos hemos basado en la infraestructura de fibra ya instalada del sistema troncal Guayaquil, Salinas, Manta, Quevedo, Sto. Domingo y Quito de Pacifictel.

Con DWDM lograremos aumentar la capacidad de la fibra óptica en la brevedad que sea requerida a través de la multiplexación de longitudes de ondas, simplemente añadiendo canales a la capacidad total de nuestro sistema de transmisión, logrando con esto la optimización de los costos obteniendo mayor velocidad y fiabilidad.

En Ecuador no hay datos sobre un estudio con ésta técnica; así, con éste trabajo se espera satisfacer las expectativas sobre un proyecto de ésta magnitud, aclarando que los resultados finales no son definitivos.

CAPITULO I

EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Las redes de transporte han evolucionado durante un siglo de historia de avances tecnológicos y cambios sociales, debido a la importancia de comunicarnos cada vez más rápido y eficientemente sin importar la distancia; lo que ha llevado al desarrollo de diferentes medios y tecnologías de transmisión.

Se han obtenido mejoras significativas en las redes de transmisión desde los años 80, en los que se logra la digitalización de las mismas, evolucionando en tres etapas fundamentales: asíncronas, síncronas y ópticas.

Las tecnologías asíncronas y síncronas respectivamente que emplean multiplexación digital en el tiempo son: PDH y SDH, pero debido al tráfico de datos actual y al crecimiento de las telecomunicaciones han quedado limitadas en su capacidad de transmisión obligando a desarrollar nuevos sistemas, surgiendo la red óptica con dos tipos de tecnología que emplean multiplexación por división de longitud de onda conocidas como: WDM y DWDM, las cuales brindan una gran capacidad de ancho de banda y una alta velocidad en el transporte de información por fibra, prácticamente sin restricciones para manejar el incremento de tráfico en las redes, además de hacerla más fiable.

La tecnología actual avanza día a día de acuerdo a las necesidades con que se va enfrentando el hombre en su vida cotidiana, es el caso de las telecomunicaciones en general y específicamente en las comunicaciones vía fibra óptica.

En resumen, se ha evolucionado en las tecnologías, pasando de asíncrona a síncrona, hasta la actual y muy utilizada red óptica.

A continuación explicamos cada una de las tecnologías existentes desde PDH hasta DWDM.

1.2 JERARQUÍA DIGITAL PLESIÓCRONA (PDH)

1.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

PDH es una jerarquía digital de multiplexación en el tiempo, para transmisión sobre un medio eléctrico u óptico que establece diferentes órdenes de

velocidades de transmisión en el que cada nivel combina un número de señales digitales y cada uno con velocidades específicas. A esta jerarquía se la denomina plesiócrona porque el reloj usado en cada nivel de multiplexación es independiente de los otros niveles; en oposición a la jerarquía digital síncrona que adopta un solo reloj para toda la red.

Existen tres jerarquías digitales plesiócronas, cada una de las cuales define una estructura de trama.

Jerarquía Norteamericana.- Agrupa 24 canales a una velocidad de 1.544 Mbps, denominada **T1**. Posteriormente genera 2 órdenes superiores (x4) a 6.312 y (x7) a 44.736 Mbps.

Jerarquía Japonesa.- Recupera el valor de 6.312 Mbps, pero obtiene los valores jerárquicos (x5) a 32.064 y (x3) a 97.728 Mbps.

Jerarquía Europea.- Usada también en Latinoamérica. La mínima velocidad de esta jerarquía es de 2.048 Mbps denominada **E1**, con 32 canales de 64 Kbps. Agrupándose sucesivamente cuatro entradas de la jerarquía inmediata inferior se obtienen las velocidades de 8.448, 34.368, 139.264 y 564.992 Mbps. A este proceso se le conoce como multiplexación en el tiempo. La figura 1.1 muestra como se realizan las sucesivas multiplexaciones hasta llegar a la jerarquía más alta.



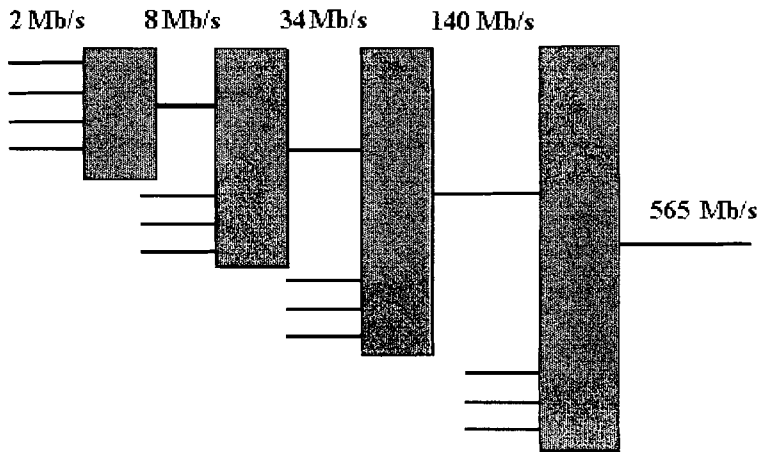


Figura 1.1: Multiplexación de la jerarquía europea de PDH

1.2.1.1 JERARQUÍA DE MULTIPLEXACIÓN PDH

Los diferentes estándares para la jerarquía de multiplexación PDH en todo el mundo, se muestra en la tabla I.

Tabla I: Tipos de multiplexación PDH

Jerarquía americana (Mbps)	Jerarquía japonesa (Mbps)	Jerarquía europea (Mbps)
1.5	6	2
6	32	8
45	97	34
		140
		565 (no estandarizada)

1.2.1.2 JERARQUÍA DE MULTIPLEXACIÓN EUROPEA

En la tabla II se aprecia la secuencia histórica de la jerarquía europea PDH, la cual muestra su crecimiento exponencial.

Tabla II: Evolución de la jerarquía europea

Velocidad (Mbps)	Año
2	1966
8	1970
34	1973
140	1980
565	1985

1.2.1.3 CAPACIDAD DE CANALES

La capacidad de canales para cada nivel de la jerarquía europea se muestra en la tabla III.

Tabla III: Niveles de la jerarquía europea

Orden en la jerarquía	Velocidad (Mbps)	Capacidad de canales	Trama
1	2.048	30	256 bit = 125 μ s
2	8.448	120	848 bit = 100.38 μ s
3	34.368	480	1536 bit = 44.7 μ s
4	139.264	1920	2904 bit = 20.85 μ s
5	564.992	7680	2688 bit = 4.7 μ s

1.2.1.4 SEÑALIZACIÓN DE LA JERARQUÍA EUROPEA

La jerarquía de multiplexación europea utiliza señalización por canal común, es decir, uno de los 32 espacios o intervalos de tiempo, específicamente el intervalo 16 (time slot 16) es utilizado para enviar la señalización de conmutación de los 30 canales. El intervalo de tiempo 0 (time slot 0) es utilizado para sincronización de la trama, el resto de los intervalos es utilizado para voz y /o datos.

1.2.1.5 APLICACIONES DE PDH

PDH debido a su versatilidad y capacidad es utilizada en nuestras comunicaciones actuales. La cantidad y variedad de equipos instalados permite configurar una gran variedad de redes.

Entre las aplicaciones de PDH tenemos las siguientes:

- Transmisión de telefonía fija y celular
- Transmisión de datos
- Redes inteligentes
- Aplicaciones en Centros de Cómputos
- Radiodifusión y televisión (radioenlaces)

1.2.1.6 VENTAJAS DE PDH

PDH ha permitido la multiplexación para el transporte de voz a una velocidad de 64 Kbps, empleándose aún en los sistemas de transmisión.

Por otro lado, el surgimiento de esta técnica ha permitido nuevos avances tecnológicos que han llevado al desarrollo de otras jerarquías más flexibles, a partir del nivel jerárquico más bajo de PDH (2 Mbps), aumentando tanto la capacidad como la velocidad en las redes de transporte.

1.2.1.7 DESVENTAJAS DE PDH

PDH es una jerarquía de concepción sencilla, sin embargo contiene algunas complicaciones: brinda limitadas capacidades de operación, administración y mantenimiento, baja estandarización; el proceso de multiplexación y demultiplexación es complejo y requiere de mucho equipamiento (lo que eleva los costos de inversión), siendo la principal problemática de esta jerarquía la falta de sincronismo entre equipos y cuando se quiere obtener información de un nivel superior se necesita demultiplexar la señal completamente hasta 2 Mbps para poder tomarla y luego volver a multiplexar las señales. Todo esto ha llevado al desarrollo de otras jerarquías, surgiendo como solución una técnica denominada SDH.

1.3 JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA (SDH)

1.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

SDH es una jerarquía digital síncrona, de aquí su nombre. Esta jerarquía es un estándar internacional, desarrollado para redes de telecomunicaciones de alta velocidad y alta capacidad sobre fibra óptica, transportando la información a velocidades desde 155 Mbps hasta 40 Gbps.

SDH es un sistema de transmisión digital realizado para proveer una infraestructura de redes más simple, económica y flexible que optimiza la transmisión de información variada (voz, datos y vídeo).

Como SDH es una jerarquía síncrona, todo el equipamiento de la red se sincroniza con un mismo reloj.

A continuación se resaltan las características fundamentales de la SDH:

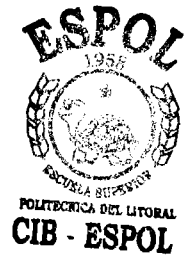
- La mínima velocidad de transmisión es de 155Mbps (STM-1), permitiendo obtener fácilmente velocidades de transmisión de hasta 40 Gbps; mediante el proceso de multiplexado.
- Es una tecnología síncrona que emplea multiplexado a través de punteros, lo que permite acceder a cualquier canal de 2Mbps sin tener que demultiplexar toda la señal que viene a alta velocidad, como ocurre con la PDH actual.
- Posee gran cantidad de canales de overhead que son utilizados para supervisión, gestión, y control de la red. Provee mejor capacidad de operación, administración y mantenimiento del sistema de transmisión.
- Estandarización de interfaces.

1.3.1.1 JERARQUÍA DE MULTIPLEXACIÓN SDH

En la tabla IV, observamos la secuencia histórica de la jerarquía SDH que muestra el crecimiento exponencial de la tecnología, así como las velocidades de transmisión básicas en SDH:

Tabla IV: Niveles de multiplexación SDH

Jerarquía	Orden de la Jerarquía	Velocidad	Año
SDH	STM - 1	155 Mbps.	1992
SDH	STM - 4	622 Mbps.	1992
SDH	STM - 16	2.4 Gbps.	1994
SDH	STM - 64	10 Gbps.	1996



STM: Módulo de Transporte Síncrono

Un STM-1 permite el transporte de señales PDH entre 2 Mbps hasta 140 Mbps.

Los diferentes órdenes de jerarquía se logran a través de una serie de multiplexaciones, las cuales se realizan tomando cuatro líneas de la jerarquía inmediata inferior, y multiplexando las mismas en el tiempo se obtiene la siguiente jerarquía.

1.3.1.2 APLICACIONES DE LA SDH

La jerarquía síncrona al igual que PDH se aplica en sistemas de telefonía, datos y radioenlace; ofreciendo velocidades mayores de transmisión hasta 40 Gbps.

SDH es una red de transporte que permite la integración de todos los servicios variados de voz, datos y video. Siendo empleada tanto en redes públicas como en empresas y organismos oficiales en sus redes privadas.

El principal uso de SDH es la integración de diferentes tecnologías de servicios de telecomunicaciones. La figura 1.2 ilustra como una red sincrona es capaz de transmitir señales plesiócronicas y, al mismo tiempo soportar servicios futuros como ATM, para lo cual requiere el empleo de distintos tipos de elementos de red, como se observa en la figura a continuación:

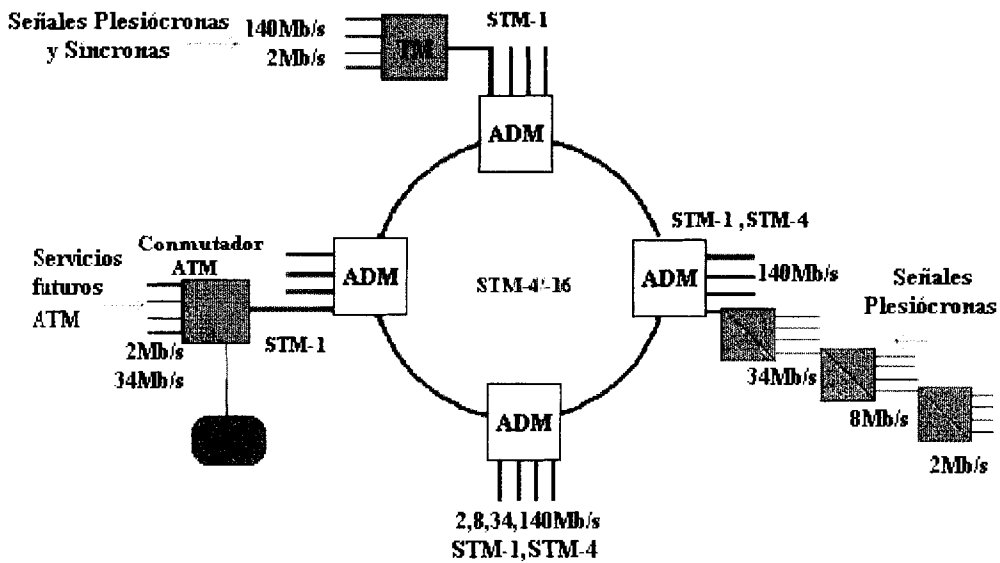


Figura 1.2: Integración de tecnologías de telecomunicaciones en SDH

ADM: Multiplexor Add/Drop.- Permite insertar o extraer señales plesiócronicas y síncronas de menor velocidad binaria en el flujo de datos SDH de alta velocidad.

TM: Multiplexor Terminal.- Combina las señales de entradas plesiócronicas y síncronas obteniéndose en la salida una señal síncrona.

1.3.1.3 VENTAJAS DE LA SDH

- *Sincronización*

Permite la sincronización bajo un mismo reloj en todos los componentes de la red. En tanto que la jerarquía PDH usa relojes independientes en los distintos niveles jerárquicos.

- *Simplificación de red*

Uno de los mayores beneficios de la jerarquía SDH es la simplificación de red frente a redes basadas exclusivamente en PDH. Como se ha mencionado se tiene 3 jerarquías plesiócrinas: americana (1.5, 6 y 45 Mbps), japonesa (6,32 y 97 Mbps) y europea (2, 8, 34 y 140 Mbps), cualquier velocidad de las indicadas puede ser transportada en la carga útil de la trama STM-1 a 155 Mbps.

- *Fiabilidad*

En una red SDH los elementos de red se monitorizan extremo a extremo y se gestiona el mantenimiento de la integridad de la misma. Como emplea topología con camino redundante (anillo), en caso de falla de un enlace o de un elemento de la red el tráfico se envía instantáneamente por el otro camino hasta la reparación del equipo o enlace defectuoso, evitando el colapso de toda la red.

- *Estandarización*

Los estándares SDH permiten la interconexión de equipos de distintos fabricantes en el mismo enlace, jugando un papel importante los

siguientes parámetros: Interfaz, longitud de onda, niveles de potencia, formas y codificación de pulsos. Evitando los problemas asociados a estar cautivo de una solución propietaria de un único fabricante.

1.3.1.2 DESVENTAJAS DE LA SDH

SDH por ser una técnica que emplea multiplexación digital en el tiempo no permite el aumento de la capacidad (ancho de banda) en la medida que lo requiere la creciente demanda de tráfico.

Empleando múltiples portadoras ópticas con TDM se incrementa la velocidad generando dos grandes inconvenientes: en cuanto a la transmisión, exige una correspondiente velocidad eléctrica de proceso en los equipos terminales y de tránsito; y con respecto a la multiplexación y demultiplexación, exige la extracción o inserción de un tributario cualquiera que independientemente de su capacidad necesita la conversión opto-eléctrica, procesado eléctrico y reconversión electro-óptica de toda la trama digital.

Mientras que en los sistemas en que el aumento de capacidad se obtiene mediante multiplexación de longitudes de ondas los problemas antes mencionados no se plantean.

1.4 COMPARACIÓN ENTRE PDH Y SDH

Desde el punto de vista comparativo entre la SDH y la PDH se pueden indicar los siguientes argumentos:

- La PDH tiene una multiplexación asincrónica en una red plesiócrona mientras que la SDH tiene una multiplexación sincrónica en una red síncrona.
- En la PDH la estructura de trama es distinta en cada orden jerárquico y no se encuentra estandarizada por encima de 140 Mbps, mientras que en SDH existe una única estructura de trama estándar para cualquier velocidad por encima de 155 Mbps.
- PDH requiere de varias tramas que involucran: bits de paridad para el control de la tasa de error (BER); canales de servicio para comunicación a nivel de telefonía en el mantenimiento; canales de datos para operación del sistema. Además, utiliza como protección de la red la redundancia de equipos. En SDH en cambio dichas informaciones se integran en una trama normalizada para todos los fabricantes. En otras palabras, el nivel de banda base del equipo de transmisión se ocupa de utilizar los bytes ya definidos en su totalidad en el nivel SDH de multiplexación a 155 Mbps. utilizando como protección de la red topología con caminos redundantes.
- Ambas jerarquías emplean multiplexación digital en el tiempo (TDM).

1.5 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM)

1.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

WDM es una tecnología de Multiplexación por División de Longitud de Onda orientada a transmitir información a través de Fibra Óptica. Dicho proceso permite que diferentes cadenas de información sean transportadas a diferentes longitudes de onda y enviadas todas a la vez por una única fibra óptica.

El WDM convencional está estandarizado internacionalmente por la UIT-T G.692 para utilizar longitudes de onda que van desde 1310 nm hasta 1550 nm donde la distancia entre los distintos canales que ocupan la misma fibra es de 200 a 400GHz.

Mediante el uso de tecnología WDM, cada longitud de onda transmitida por la misma fibra soporta un canal independiente y, consecuentemente, aumenta el ancho de banda disponible para diferentes servicios. Por ejemplo, con tecnología estándar SDH, 1344 señales E1 se transmiten por un par de fibras. Empleando tecnología WDM y el mismo par de fibras, se llegan a transmitir hasta 53.760 señales E1.

Los sistemas WDM permiten transmitir simultáneamente desde 4 hasta 32 longitudes de onda por una misma fibra óptica. En la tabla V se muestra el número de canales con sus respectivas velocidades de transmisión.

Tabla V: Velocidad de transmisión en WDM

Número de longitudes de onda	Velocidad de transmisión (Gbps)
4	10
8	20
16	40
32	80

1.5.1.1 APLICACIONES DE WDM

- El uso más extendido de WDM es en sistemas punto a punto para larga distancia. Sin embargo en la actualidad su principal aplicación es reemplazar sistemas que operan basándose en otras tecnologías de transmisión sobre Fibra Óptica.
- Otra aplicación útil de WDM es la construcción de anillos ópticos que permiten monitorizar el resultado del envío de la misma información en dos longitudes de onda distintas, por lo que es muy sencilla la detección de errores de transmisión.
- La tecnología WDM juega un importante papel en los cables submarinos intercontinentales debido al rápido crecimiento de la demanda de comunicaciones entre continentes como resultado de la globalización del comercio, permitiendo velocidades de hasta 2.5 Gbps por canal y un número de canales de entre 4 y 32.

1.5.1.2 VENTAJAS DE WDM

- En la mayoría de los casos WDM permite dotar a la fibra ya instalada de más capacidad casi de manera inmediata y eficiente, sin necesidad de sustituir a la fibra existente y eliminando la necesidad de fibra extra. Esta característica es muy valorada por los múltiples usuarios que cada vez requieren más ancho de banda y más velocidad en sus comunicaciones debido a la aparición de medios de comunicación como Internet (Páginas WEB, Correo Electrónico, Videoconferencia, Televisión por cable, Multimedia, etc.) porque la infraestructura para el tendido de un nuevo cable puede resultar más cara que el propio cable.
- Las ventajas de WDM no sólo se encuentran en el incremento de la capacidad de transmisión sino que debido a la simplicidad de los componentes ópticos pueden ser menos costosos y más fiables que los sistemas electrónicos equivalentes, mientras que los sistemas tradicionales utilizan sistemas opto-electrónicos de amplificación menos eficiente que los sistemas puramente ópticos utilizados en WDM.
- Por otro lado los proveedores de servicios pueden ofrecer sin dificultad cualquier tipo de tráfico (voz, datos y/o multimedia) sobre protocolos como IP o ATM con transmisión síncrona SDH, todo esto por supuesto sobre Fibra Óptica.

1.5.1.3 DESVENTAJAS DE WDM

Debido a que el tráfico en las redes de transporte continúa incrementando y aunque WDM es una tecnología relativamente joven con amplias y óptimas aplicaciones no será suficiente para afrontar la gran avalancha de tráfico que se puede predecir para un futuro muy cercano, causado principalmente por la transmisión de datos, los cuales de acuerdo a estudios de mercado predicen que entre los años 2000 y 2006 llegará a ser casi el 100% del tráfico total en las redes de telecomunicaciones, abriendo paso a la nueva tecnología DWDM.

1.6 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA Densa (DWDM)

1.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

La tecnología DWDM emplea multiplexación por división de longitud de onda, es superior a WDM permitiendo obtener más de 32 canales o longitudes de onda a través de un hilo de fibra óptica

Con el empleo de DWDM se disminuyen los elementos requeridos en una red. Por poner un ejemplo, si queremos transmitir 16 canales a lo largo de 500 Km. utilizando métodos tradicionales, necesitaríamos 16 fibras y un total de 144 elementos de regeneración y amplificación de señal. En cambio, esto mismo

implementado mediante tecnología DWDM, necesita una sola fibra y tres elementos de amplificación, como se muestra en la figura 1.3

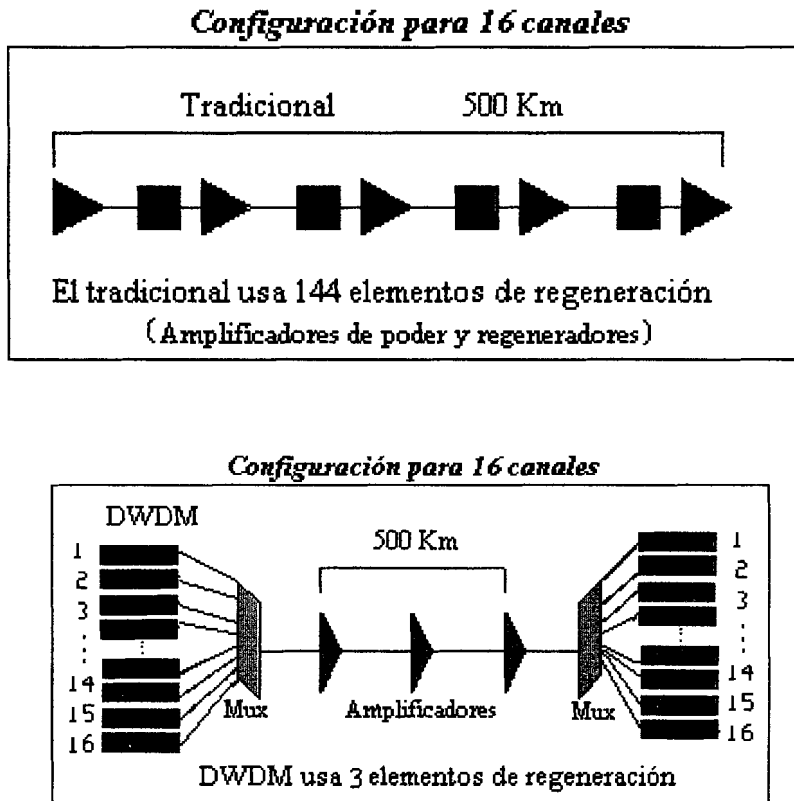


Figura 1.3: Transporte en DWDM

1.6.1.1 APLICACIONES DE DWDM

- Su mayor uso es en sistemas punto a punto para larga distancia y en cables submarinos. Sin embargo, esta tecnología es aplicable también a cortas distancias y será utilizada en un futuro próximo en redes locales LAN y en entornos de mayor tamaño MAN y WAN.

- Otra aplicación son las redes ópticas pasivas (PON), que podrían proporcionar un gran ancho de banda, tanto en casa como en la oficina. El acceso a dicho ancho de banda permite que los usuarios utilicen distintos métodos de acceso como son el TDMA (Acceso Múltiple por división de tiempo), WDMA (Acceso múltiple por división de longitud de onda) y CDMA (Acceso múltiple por división de código). Así, parece que las PON pueden surgir como importantes métodos de acceso.
- Los operadores de televisión por cable han pasado a utilizar Fibra Óptica desde mediados de los años 80, reemplazando así a las líneas de cable coaxial, eliminando las largas cadenas de amplificadores necesarias para mantener la calidad de las señales de vídeo. Sin embargo, la tecnología DWDM no es utilizable hoy en día para la transmisión de vídeo, aun así esto puede cambiar en un futuro próximo porque las compañías de televisión por cable tienen que esforzarse por competir con los proveedores de Internet y las compañías de teléfono. Y esto es posible mediante la utilización de DWDM.

1.6.1.2 VENTAJAS DE DWDM

Esta tecnología además de presentar los beneficios señalados para WDM posee la atractiva y principal ventaja de permitir incrementar la capacidad de transmisión casi de forma ilimitada, añadiendo capacidad

en días más que en semanas o meses, beneficiando a los proveedores de servicios de telecomunicaciones que tienen sus redes saturadas enviando en la actualidad hasta 160 longitudes de onda.

La ventaja de los sistemas que emplean DWDM es que pueden incrementar la capacidad de la fibra aumentando el número de portadoras ópticas y como el proceso de multiplexación y demultiplexación se realiza en forma óptica hace posible insertar o extraer portadoras (longitudes de onda) en un nodo cualquiera de la red sin afectar a las demás.

La técnica DWDM emplea sistemas puramente ópticos, dotando a la red de flexibilidad. Esto significa que aumentar o disminuir la velocidad de transmisión sólo requiere modificar los equipos terminales y no los amplificadores intermedios, porque el funcionamiento del amplificador es independiente del tráfico que soporta dentro de los márgenes de operación.

Otra ventaja de los sistemas DWDM es la simplificación de la red. Debido a que con DWDM, tan sólo se necesita un armario de tamaño mediano para almacenar toda la instalación necesaria para su funcionamiento mientras que con los actuales sistemas el espacio necesario para albergar las instalaciones, en la gran mayoría de los casos puede ocupar edificios o habitaciones completas.

En resumen las ventajas de DWDM son las siguientes:

- Varios tráficos sobre una misma fibra óptica
- Alta flexibilidad y expansión del ancho de banda
- Mux/demux con funciones ópticas
- Canales individuales

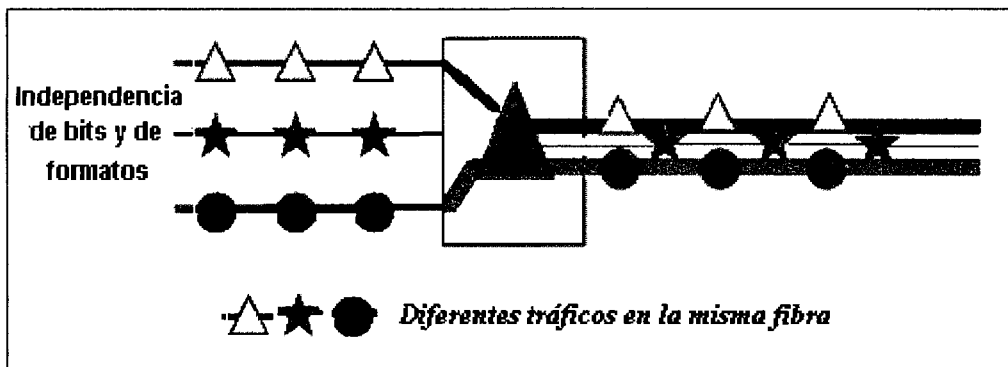


Figura 1.4: Incremento de la capacidad de DWDM

1.6.1.3 DESVENTAJAS DE DWDM

Por lo expuesto, DWDM es una técnica que ofrece gran capacidad de transmisión en las redes de transporte. Sin embargo, por ser una tecnología aún en desarrollo se continúa con el avance y pruebas de algunos dispositivos o componentes para DWDM y como resultado, en un principio la implementación y funcionamiento de sistemas DWDM sería costoso, por lo que su uso se limitaría a sistemas de largas distancias y en cables submarinos.

CAPÍTULO II

TECNOLOGÍA DWDM

2.1 ORIGEN DE DWDM

DWDM surge con el desarrollo de los dispositivos fotónicos y especialmente con el descubrimiento de nuevos procesos para la fabricación de fibra, lo que ha hecho posible ampliar el espectro utilizable, pues con los actuales procesos de manufactura se eliminan los restos de agua que antes quedaban en la fibra y la hacían más opaca.

Para la transmisión por fibra óptica, anteriormente se utilizaba la franja de los 1310 nm en longitud de onda. En la actualidad, debido a que presenta un menor índice de atenuación y con los actuales procesos de manufactura, se utiliza la zona de los 1550 nm. Este avance hizo que la región de los 1400 nm, considerada una zona opaca, se volviera más transparente y por lo tanto utilizable. Por otra parte, la zona transparente

se extendía hasta los 1560 nm y alrededor de los 1600 la fibra se oscurecía mucho; pero, gracias al proceso antes mencionado, se pudo incrementar la capacidad de transmisión también hacia dicha franja. “Lo que ha permitido esta explosión, en cuanto a la capacidad de la fibra, es que puedan incorporarse muchos colores o canales en ella”. Este avance permite aprovechar al máximo la capacidad de la fibra óptica basada en la multiplexación de muchas portadoras ópticas ya que en los actuales sistemas comerciales sólo se utiliza una décima parte de la zona transparente de la fibra.

2.2 INCREMENTO EN LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se ilustra el aumento de la capacidad de la fibra óptica:

Baja utilización de la fibra óptica.- En los sistemas que utilizan TDM no se aprovecha al máximo el atractivo ancho de banda del que dispone la fibra, debido a que únicamente la información viaja a través de un solo canal.

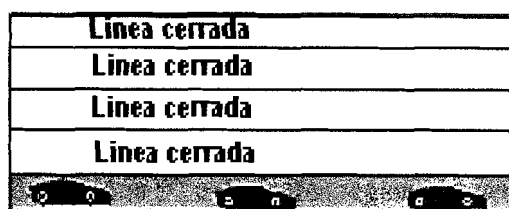


Figura 2.1: Baja utilización de la fibra óptica

Alta disponibilidad de la capacidad.- En los sistemas WDM donde diferentes cadenas de información son transportadas (hasta en 32 longitudes de onda por una misma fibra óptica), se aumenta el ancho de banda disponible.

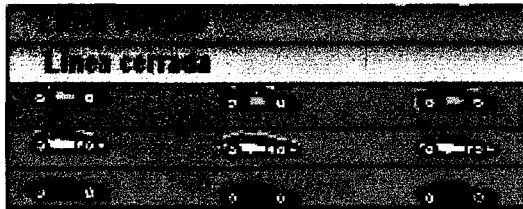


Figura 2.2: Alta disponibilidad de la capacidad de la fibra óptica

Máxima utilización de la capacidad.- En los sistemas densos DWDM donde la multiplexación se extiende hasta 160 canales sobre una misma fibra, se obtiene la máxima explotación de la capacidad en la fibra óptica.

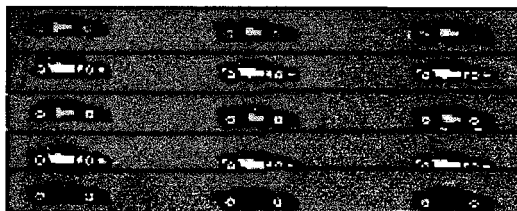


Figura 2.3: Máxima utilización de la capacidad

2.3 EVOLUCIÓN DE DWDM

La primera técnica que aparece con la multiplexación de longitud de onda es WDM que surge a finales de los años 80 usando dos regiones o ventanas del espectro óptico, 1310 y 1550 nm a lo que se denominó transmisión WDM en banda ancha, que usa una señal de transmisión a 1550 nm y otra de retorno a 1310 nm.

A partir de los 90 aparece una segunda generación de WDM, llamada banda estrecha WDM que permite espaciamientos más cortos, en la cual se usan de 2 a 8 canales. Estos canales están separados en intervalos de 200 a 400 GHz en la ventana de 1550 nm, alcanzando velocidades de 2.5 Gbps en enlace punto a punto.

Por mediados de los 90, los sistemas densos WDM (DWDM) emplean de 16 hasta 40 canales y estaban espaciados de 100 a 200 GHz.

A finales de los 90, los sistemas DWDM llegaron a ser una realidad, donde estos poseen capacidad de 64 a 160 canales paralelos, densamente empaquetados en intervalos uniformes menor o igual a 100 GHz.

La figura 2.4 muestra el progreso de esta tecnología de como ha ido incrementando el número de longitudes de ondas acompañada de una disminución en la separación entre canales o longitudes de onda.

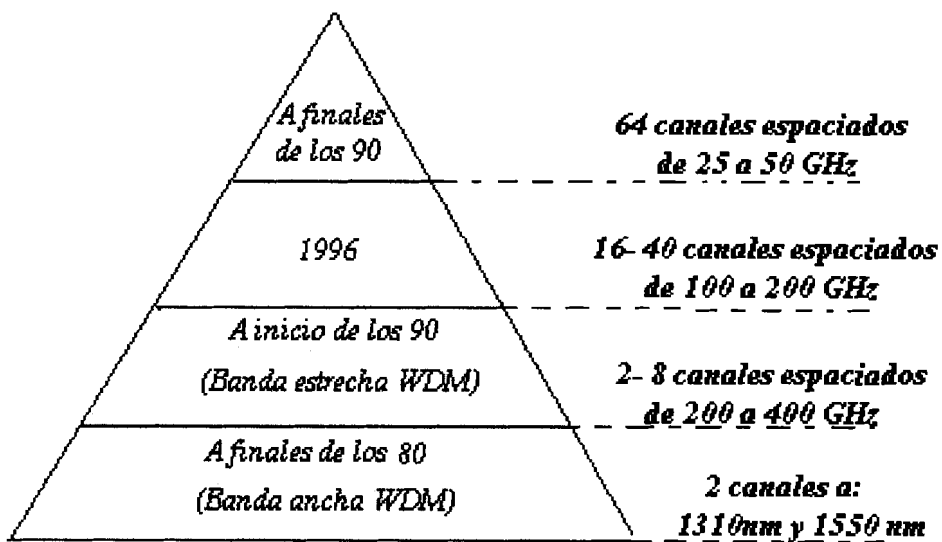


Figura 2.4: Evolución de DWDM

Con este avance un gran número de servicios y una multitud de longitudes de ondas comenzaron a coexistir en la misma fibra llegándose a enviar 32/40/64/80/96/100/160 longitudes de onda a 2.5 y 10 Gbps. Actualmente en laboratorios se ha logrado el uso de 300 canales que corren a 2.5 Gbps, emitidos todos desde un solo láser y la capacidad para 500 canales no está muy lejos. El transporte óptico que se ha logrado es de 0.75 Tbps con 300 canales.

Mediante el uso de esta tecnología, cada longitud de onda transmitida por la misma fibra soporta un canal independiente y, consecuentemente aumenta el ancho de banda disponible para diferentes servicios.

Cabe destacar que con el apareamiento de la multiplexación de longitud de onda, que permite la explotación del atractivo ancho de banda de la fibra óptica y con las nuevas tecnologías que proporcionan una capacidad prácticamente ilimitada en servicios de banda ancha a costos mucho más reducidos que los actuales, así como la evolución de los dispositivos ópticos que irán desplazando en la medida de su disponibilidad a los dispositivos electrónicos nos conducirá a un medio de transmisión óptico en plenitud.

2.4 DEFINICIÓN DE LA TÉCNICA DWDM

DWDM viene del inglés "Dense Wavelength Division Multiplexing", que traducido al castellano significa Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda. Se trata de una tecnología que permite introducir datos de diferentes fuentes en una misma fibra óptica, en la que la señal de cada fuente viaja en una frecuencia de onda distinta y separada de las demás por su propia longitud de onda. Lo más importante de todo ello

estriba en que con el sistema DWDM se pueden usar hasta 160 (teóricamente más) canales virtuales que pueden ser multiplexados en rayos de luz que se transmiten por la misma fibra óptica.

Esta multiplexación por división de longitud de onda densa, consiste en sistemas ópticos altamente avanzados que dividen las señales en diferentes longitudes de onda o colores y los transmite simultáneamente a través de una sola fibra para incrementar su capacidad en transporte de tráfico.

Por lo tanto el rendimiento de una sola fibra que contiene un cable ya instalado se puede multiplicar con muy bajo costo económico. Este sistema permite que cada canal transporte 2.5Gbps (2500 millones de bits por segundo), y se pueden hacer circular por la misma fibra 160 canales diferentes y por tanto la transmisión será de 400 Gbps.

Es obvio que la tecnología DWDM ofrece grandes ventajas a los operadores y usuarios en general. La posibilidad de aumentar la capacidad de sus redes en el caso de los primeros y brindando mejor calidad e incremento en la velocidad de transmisión y recepción de la información en el caso de los usuarios. La capacidad que se puede obtener con DWDM es cercana a los terabits en una sola fibra óptica y en este punto es de destacar que la mayor parte de las instalaciones de fibra óptica ya existentes y en funcionamiento se pueden reconvertir al sistema DWDM, para ello y también para un nuevo cable que se instale se deben cambiar e incorporar nuevos sistemas ópticos y opto-electrónicos. En general DWDM ha revolucionado la industria de las telecomunicaciones proveyendo de infraestructura para largo transporte de redes ópticas.

2.5 REJILLA DE TRANSMISIÓN PARA DWDM DEFINIDOS POR LA UIT-T

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ha definido un juego de frecuencias o longitudes de onda que regulariza a DWDM. El plan define 40 canales en el rango de 1530 a 1565 nm. Las longitudes de onda pueden espaciarse tan bajo como 25GHz en los sistemas de hoy. Las frecuencias normales nominales van de 191.7 THz (1563.8 nm) a 195.9 THz (1530.3 nm).

2.6 CAPAS DEL SISTEMA DWDM

En los sistemas de transmisión que emplean tecnología DWDM intervienen dos capas:

La Capa Física y

La Capa Óptica

2.7 FUNCIONES DEL SISTEMA DWDM EN LA CAPA FÍSICA

DWDM involucra un pequeño número de funciones en la capa física. Las mismas que pueden resumirse en cinco: emisión, multiplexación, transmisión, demultiplexación y recepción de las señales. Esto se muestra en la figura 2.5 donde vemos el esquemático para cuatro canales. Cada canal óptico ocupa su propia longitud de onda. La luz eficaz a una longitud de onda dada se confina estrechamente alrededor de su longitud de onda central.

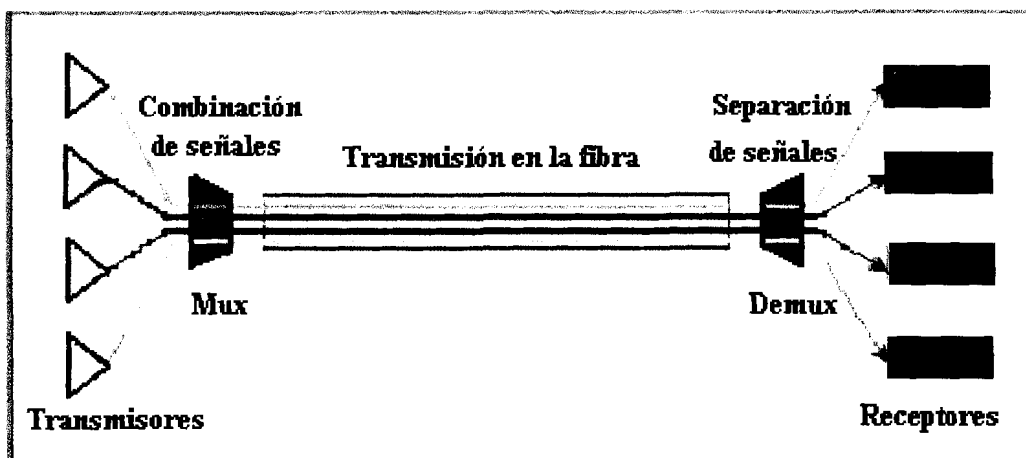


Figura 2.5: Esquema del funcionamiento de DWDM

2.7.1 EMISIÓN

Como primer elemento de la red nos encontramos con la fuente que emite la señal en el rango óptico del espectro electromagnético, es decir, una fuente que genera señales luminosas y que consiste normalmente en un diodo láser. La fuente, en este caso lleva los datos digitales modulados así como las señales analógicas.

2.7.2 MULTIPLEXACIÓN

A continuación las señales son multiplexadas. Produciéndose pérdidas inherentes asociadas al proceso de multiplexación. Estas pérdidas dependen del número de canales usados y son corregidas con la utilización de los amplificadores ópticos (Booster).

2.7.3 TRANSMISIÓN

Luego tenemos el medio físico por donde se propaga y se transmite la señal luminosa multiplexada, este medio es el cable de fibra óptica constituido por un material de un determinado índice de refracción (el núcleo) y revestido por otro material de distinto índice de refracción (el revestimiento).

Durante la transmisión a lo largo de la fibra, hay que considerar los efectos de interferencia entre canales y pérdida de la señal óptica, que pueden ser minimizadas controlando la separación entre canales y los niveles de potencia del láser. En algunos enlaces de transmisión, puede ser que se necesite amplificadores ópticos de línea.

2.7.4 DEMULTIPLEXACIÓN

Las diferentes longitudes antes de ser recibidas, deben ser demultiplexadas y por las pérdidas inherentes asociadas a este proceso, se utilizan los amplificadores ópticos (Pre-amplificadores).

2.7.5 RECEPCIÓN

Finalmente la señal demultiplexada, es recibida por un fotodetector, situado en el extremo final de la fibra.

2.8 FUNCIONES DEL SISTEMA DWDM EN LA CAPA ÓPTICA

Dentro de una red de transmisión óptica (OTN), hay tres capas primarias definidas:

- La Capa del Canal Óptico (OCh),
- La Capa de Sección Múltiplex Óptica (OMS), y
- La Capa de Sección de Transporte Óptico (OTS).

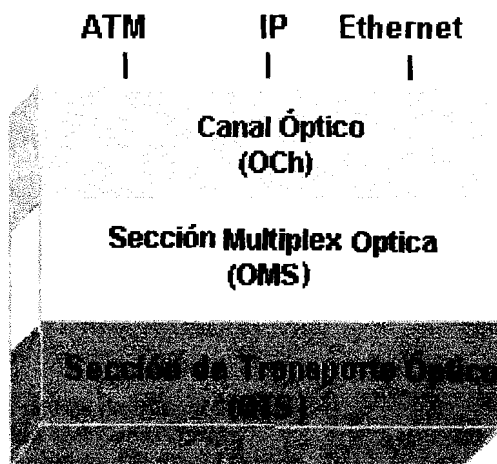


Figura 2.6: Capas de una red de transmisión óptica

2.8.1 CANAL ÓPTICO (OCh)

En el canal óptico se reciben las señales digitales previamente llevadas a formato óptico. En otras palabras un canal óptico contiene la señal óptica más su respectivo overhead (cabecera).

Subcapas del Canal Óptico

El canal óptico a su vez se divide en tres subcapas, las cuales son:

- La Unidad de la Carga Útil del Canal Óptico (OPU),
- La Unidad de Datos del Canal Óptico (ODU), y
- La Unidad de Transporte del Canal Óptico (OTU)

Cada una de estas sub-capas posee sus propias funciones y su overhead asociado.

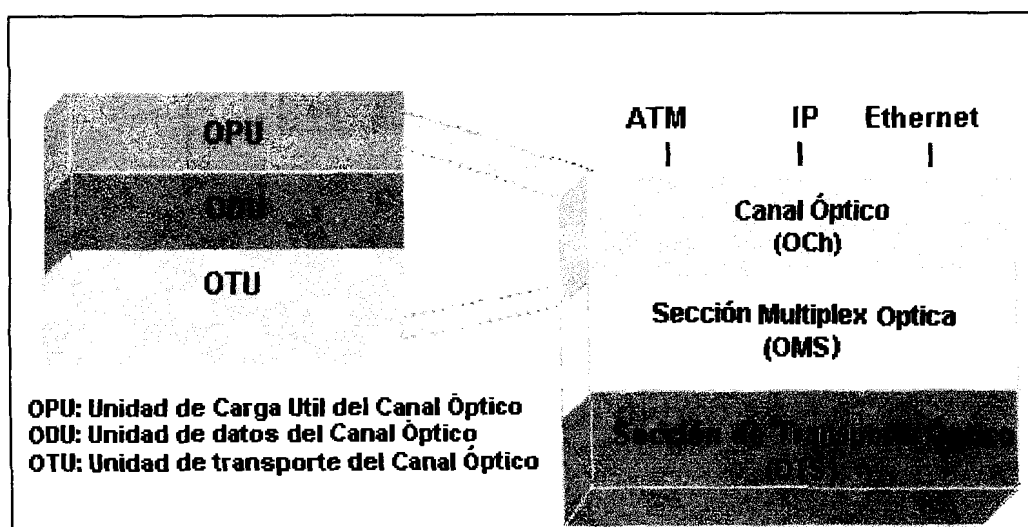


Figura 2.7: Sub-capas del Canal Óptico

2.8.1.1 LA UNIDAD DE LA CARGA ÚTIL DEL CANAL ÓPTICO (OPU)

La trama OPU contiene la carga útil de la señal del cliente y el Overhead

OPU (OPU-OH) necesario para llevar cualquier señal cliente en la trama.

Aunque cualquier señal del cliente se puede encapsular en la trama OPU, existen tres tipos de carga útil asociadas a la subcapa OPU; éstas son señales de 2.5Gbps, 10Gbps, y 40Gbps. Las mismas que corresponden a las populares señales SDH, pero se pueden utilizar para cualquier otro tipo de señal del cliente incluyendo ATM, IP o Gigabit Ethernet.

La estructura de la trama OPU es mostrada en la figura 2.8:

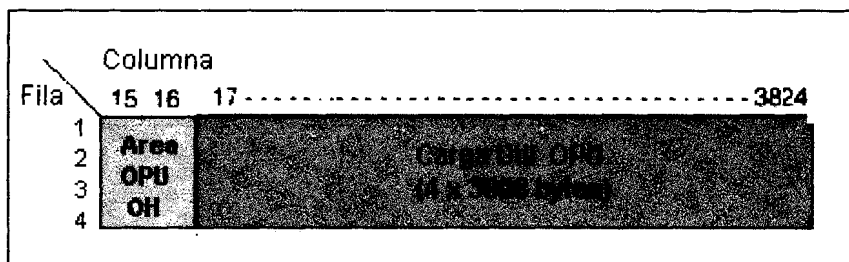


Figura 2.8: Estructura de la trama OPU

2.8.1.2 UNIDAD DE DATOS DEL CANAL ÓPTICO (ODU)

El ODU es la estructura usada para transportar el OPU. El ODU consiste en el OPU más el Overhead asociado (ODU-OH). Esta capa proporciona funciones de supervisión en la conexión del enlace óptico.

El ODU-OH es un elemento importante en el encapsulamiento digital porque contiene la información que permite el mantenimiento y la operación de los canales ópticos, incluyendo:

- Señales De Mantenimiento (MS)
- Canales De Comunicaciones Generales (GCC1, 2)
- Supervisión De la Trayectoria (P.M.)
- Supervisión De la Conexión Tándem (Tcm1-6)
- Conmutación Automática De la Protección (APS/PCC)
- Tipo de Falla y localización de Falla (FTFL)

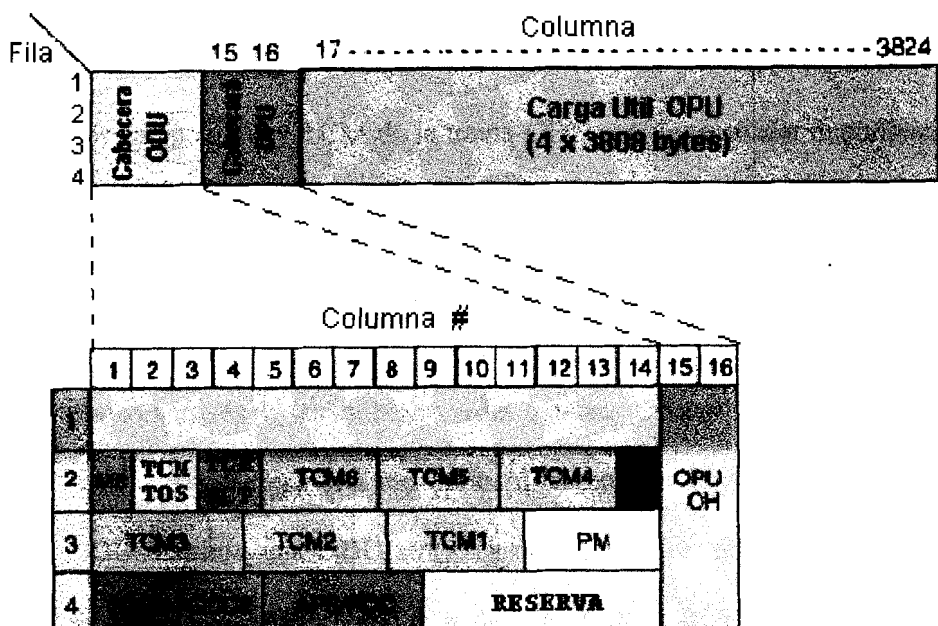


Figura 2.9: Estructura de la cabecera ODU

Señales De Mantenimiento (MS)

El ODU-OH contiene bytes reservados para la información de la señal del mantenimiento (MS); información tal como señal de indicación de alarma (AIS) e indicación de conexión abierta (OCI). Estas funciones hacen posible al operador de red visualizar la continuidad de la comunicación punto a punto.

Canales De Comunicaciones Generales (GCC1, 2)

El ODU-OH también contiene dos canales de comunicaciones generales: GCC1 y GCC2. Estos canales poseen formatos independientes, son canales limpiadores (clear channels), que se pueden utilizar para pasar la información entre dos elementos cualquiera de la red.

Supervisión De la Trayectoria (PM) y Supervisión De la Conexión Tándem (Tcm1-6)

Los campos PM y TCM de la trama ODU son de particular importancia para supervisión de la conexión y administración de la trayectoria óptica.

El TCM es el campo que permite a los operadores supervisar el enlace óptico a través de las múltiples redes ópticas. Existen seis campos TCM, cada uno supervisa una red óptica diferente por la cual viaja la trama ODU. Cuando una ODU atraviesa una red óptica, el campo TCM1 se puebla y es señalado como tope de pila (TOS) y así sucesivamente cada vez que una ODU atraviesa una red óptica, el campo TCM se va apilando; es decir el siguiente campo TCM_i ($i=2..6$), será poblado y designado como tope de pila. Esto proporciona visibilidad y conexión a los proveedores de servicio de telecomunicaciones, lográndose así una conexión verdaderamente administrada en el dominio óptico, a través de múltiples redes ópticas, sin importar el fabricante del equipo óptico empleado en el sistema de transmisión u operador.

Este proceso ocurre en ambas direcciones, transmisión y recepción de la señal óptica. Además como podemos apreciar se pueden supervisar hasta siete conexiones ODU-Tándem con los seis campos TCM.

TCM TOS: Tope de pila para supervisión de la conexión tándem.

TCM ACT: Activación y desactivación del canal de control para supervisión de la conexión tándem.

Conmutación Automática De la Protección (APS/PCC)

Este campo provee protección del switcheo automático y control de este canal de protección. De esta manera se protege a la capa del enlace óptico, tal es el caso de canales ópticos compartidos en configuración anillo.

Tipo de Falla y localización de Falla (FTFL)

Este campo señala la localización de fallas en la trayectoria óptica así como el tipo de falla detectada en el sistema DWDM. Este campo aún se está refinando en la UIT-T, pero proporciona actualmente la ayuda para reportar fallas en un canal óptico.

2.8.1.3 UNIDAD DE TRANSPORTE DEL CANAL ÓPTICO (OTU)

La trama OTU contiene la trama ODU más el overhead OTU (OTU-OH) y el OTU FEC. Esta capa provee las funciones de detección y corrección de errores, así como supervisión de las funciones que se llevan a cabo en

las siguientes capas de la red óptica (OMS y OTS). La estructura de la trama OTU y OTU-OH se muestran en la figura 2.10.

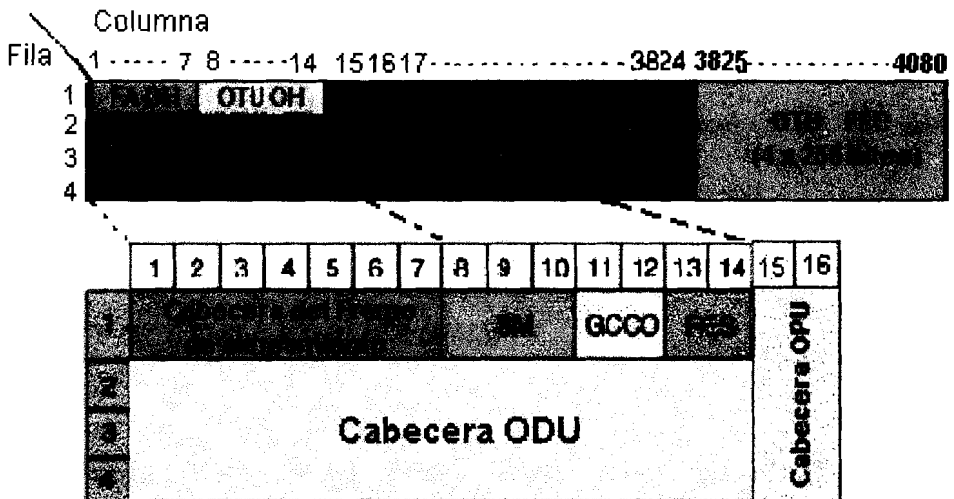


Figura 2.10: Trama OTU

El OTU-OH contiene los siguientes campos para supervisar el canal óptico:

- Supervisión de la sección (SM)
- Overhead reservado para supervisión de la sección (RES)
- Canal de comunicación general 0 (GCC0)

Supervisión de la sección (SM)

Las funciones de este campo son paralelas a las funciones de supervisión provistas por el overhead ODU (ODU-OH). Proporciona las mismas funciones que en el ODU, solamente que ahora es en la capa de sección en lugar de la capa del canal óptico.

Overhead reservado para supervisión de la Sección (RES)

El OTU al igual que el ODU, también contiene bits reservado para uso futuro.

Canal de comunicación general 0 (GCC0)

El ODU cuenta con un canal de comunicación general GCC0, que sirve para la comunicación entre dos nodos cualquiera de la red.

2.8.2 SECCIÓN MÚLTIPLEX ÓPTICA (OMS)

La capa óptica OMS contiene la carga útil (payload) de la trama OMS junto con el overhead (OMS-OH). La carga útil del OMS consiste en los canales ópticos multiplexados y en cuanto al contenido del overhead, éste aún no está definido, sin embargo es transportado como parte del overhead OTU (OTU-OH).

La OMS apoya las conexiones y monitoreo en la sección de multiplexación. Es decir la OMS corresponde a la sección entre un mux y demux óptico, como se muestra en la figura 2.11.

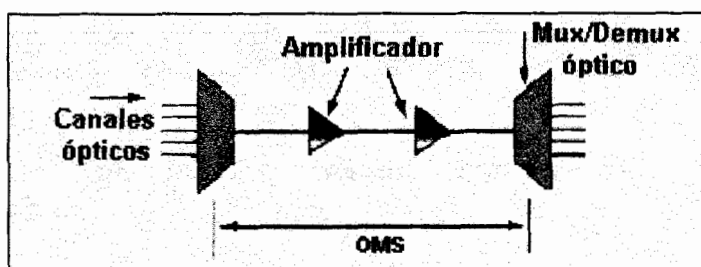


Figura 2.11: Sección Múltiple Óptica

Con la OMS, los operadores de red pueden localizar y aislar las averías que ocurren en la sección de multiplexación de la red DWDM.

2.8.3 SECCIÓN DE TRANSPORTE ÓPTICO (OTS)

La capa óptica OTS contiene la carga útil de la trama OTS y el overhead OTS (OTS-OH). La carga útil OTS consiste en n secciones múltiplex ópticas, en cuanto al overhead al igual que la capa anterior no lo tiene aún definido, pero en general consiste en la información para las funciones de mantenimiento y operación del sistema para apoyar a la sección del canal óptico (OCh).

El overhead OTS-OH se lleva en el OTU-OH. Un ejemplo de un OTS sería la sección de la red entre dos amplificadores en un acoplamiento óptico, según lo muestra la figura 2.12.

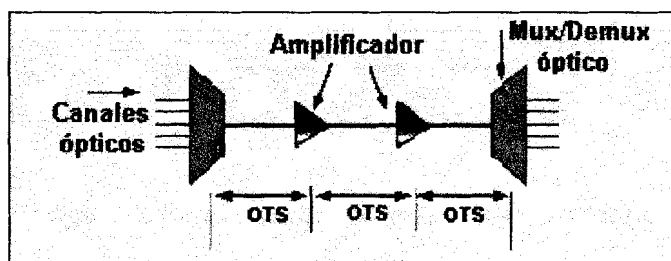


Figura 2.12: Sección de Transporte Óptico

La capa OTS permite a los proveedores de servicio administrar y supervisar las secciones físicas de la fibra óptica entre los elementos de la red tales como:

Muxs ópticos add/drop, amplificadores, o switches ópticos. reportando a los operadores de red cualidades tales como: niveles, dispersión, y pérdida de la señal óptica, lo que facilita a los operadores de red la detección y aislamiento de fallas en el nivel físico de transmisión, es decir averías en la fibra.

En resumen el canal óptico comprende la señal del cliente, que es llevada de un formato digital a formato óptico, el OMS comprende la sección en que varios canales son multiplexados ópticamente y el OTS constituye el transporte óptico sobre un tramo de fibra, es decir entre dos elementos cualquiera del enlace óptico.

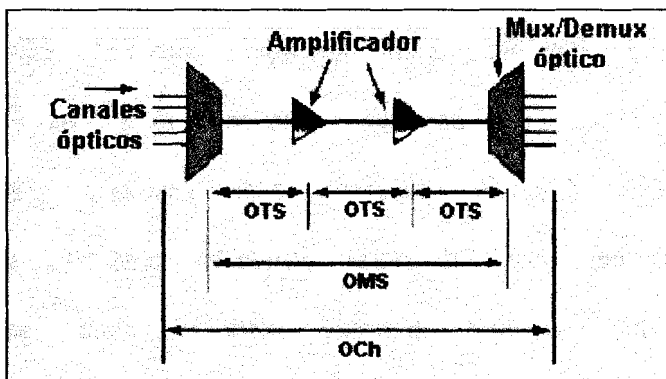


Figura 2.13: Capas de red de Transmisión Óptica

2.9 MULTIPLEXACIÓN Y DEMULTIPLEXACIÓN ÓPTICA

El multiplexado consiste en transportar por un mismo soporte físico, en este caso la fibra óptica, las señales destinadas a un gran número de abonados. El multiplexado y

demultiplexado se efectúan por medio de componentes ópticos pasivos, de modo similar a la descomposición y la recomposición de colores de los colores del arco iris por un prisma (figura 2.14).



Figura 2.14: Descomposición y recomposición de los colores

De forma similar a la radio, los sistemas que emplean multiplexado en longitud de onda envían y reciben por una misma fibra varias portadoras ópticas, separadas espectralmente entre sí tal como se ilustra en la figura 2.15. El multiplexado en longitud de onda también abre perspectivas de direccionamiento óptico en las redes. De esta manera las comunicaciones se podrán dirigir de una vez por todas en tal o cual dirección según su longitud de onda.

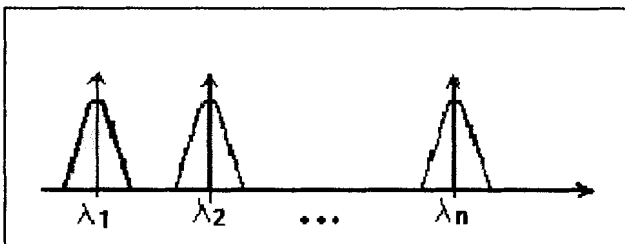


Figura 2.15: Multiplexado en longitud de onda

2.10 COMPONENTES DE DWDM

Entre los componentes que conforman un sistema DWDM tenemos:

- Láser seleccionable
- Fibra óptica
- Amplificadores ópticos (EDFA)
- Filtro óptico
- Fotodetector
- Multiplexores ópticos Add/Drop (OADM)
- Conmutadores ópticos (OXC)

Láser seleccionable.- Estos deben cumplir unos requisitos básicos que pueden resumirse en: generación precisa de las longitudes de onda estandarizada, capacidad de transmisión dentro del ancho de banda de los EDFA y rapidez de conmutación de la longitud de onda dependiendo de la aplicación.

Fibra óptica.- Existen diferentes tipo de cable de fibra óptica, y la fibra conocida como NZ-DSF (ver capítulo 3) que cumple con las recomendaciones G.655 de la UIT-T es el tipo idóneo, diseñado para satisfacer las necesidades y aplicaciones de DWDM.

Amplificadores ópticos.- Adquieren una importancia crucial porque reduce las pérdidas inherentes en la multiplexación y demultiplexación de señales, permitiendo enviar señales de onda luminosa, ampliando así el alcance de un pulso de luz sin tener que convertirlo primero en pulsos eléctricos y luego de nuevo en luz.

Filtro óptico.- El filtro óptico es importante en una red DWDM pues realiza el proceso de selección de un determinado canal en los bloques receptores y elimina el ruido de emisión espontánea generado por los amplificadores ópticos.

Fotodetector.- Este elemento se ubica en el extremo final de la fibra óptica y capta la señal emitida por la fuente y que ha viajado a través de la fibra.

Multiplexores ópticos (OADM).- Los módulos OADM constituyen uno de los principales pilares para DWDM por su eficiente capacidad de extraer e insertar varias longitudes de onda a lo largo de la red.

Switch óptico (OXC).- Estos dispositivos habilitan de gran capacidad y ancho de banda a los sistema DWDM, son usados en la protección de la red, como en el encaminamiento de las señales que por ella viajan.

2.11 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DWDM

La figura 2.16 muestra los principales componentes de un sistema DWDM, los cuales son: el transmisor, el amplificador óptico (EDFA), la fibra óptica, el Multiplexor/demultiplexor y el receptor, los cuales forman la parte vital del sistema de bloques.

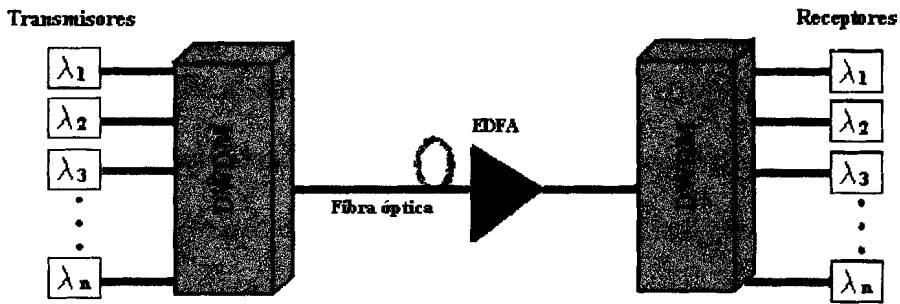


Figura 2.16: Estructura general del sistema DWDM

2.12 DWDM SISTEMA DE ARQUITECTURA ABIERTA

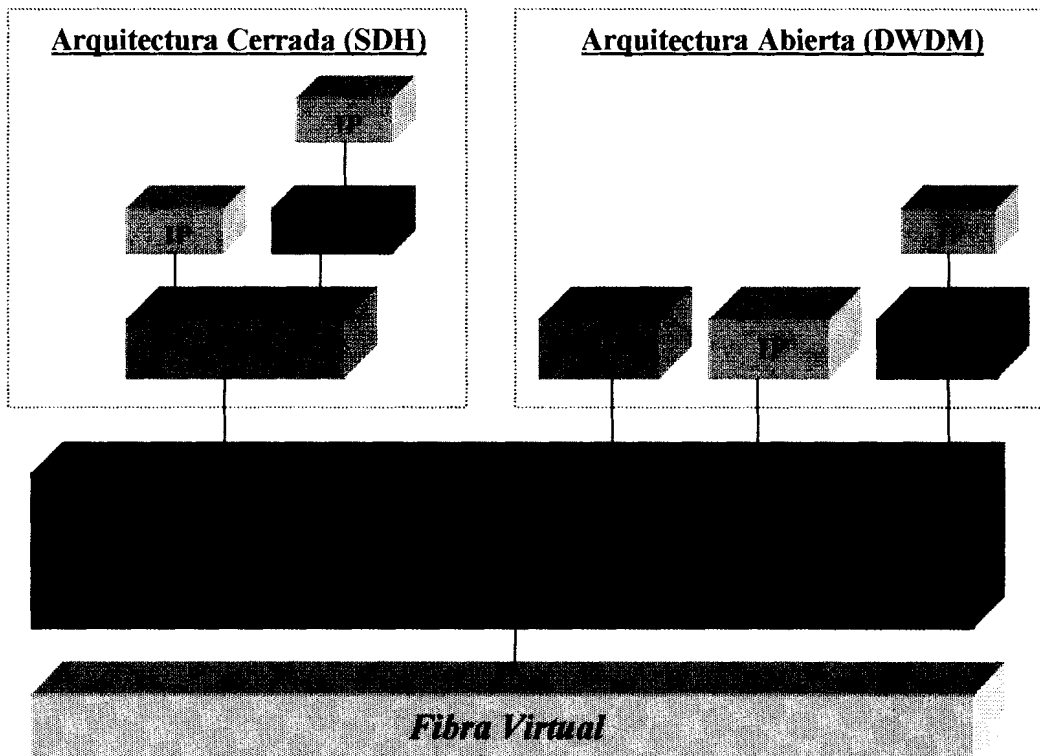


Figura 2.17: Arquitectura Abierta-DWDM

DWDM ha adoptado un nuevo nivel óptico, llamado arquitectura abierta, es abierta debido a que no está atada a SDH o a otros sistemas de TDM, es decir que un paquete ATM e IP son transportados directamente por un enlace DWDM, lo que representa transparencia y velocidad en la red. Como se aprecia en la figura 2.17, en el segmento izquierdo se muestra al sistema cerrado y en el segmento derecho al sistema abierto.

2.13 APLICACIONES DE DWDM

Existen tres tipos de sistemas en los cuales las redes DWDM pueden ser utilizadas: sistemas de larga distancia, sistemas metropolitanos y sistemas empresariales.

Sistemas de larga distancia

El objetivo principal de este sistema es la transmisión de altos niveles de banda en denominaciones de 2.5 y 10 Gbps por longitud de onda, superando así la capacidad de los sistemas SDH, puesto que posee múltiples capacidades de fibra.

Típicamente, las redes son diseñadas para trabajar en sistemas lineales. Con la nueva tecnología, los sistemas DWDM cambiarán de ser simples acumuladores de fibra, a proporcionar segmentos de restauración óptica con capacidad de proveer líneas ópticas bidireccionales.

Los sistemas DWDM para larga distancia proveerán amplificación, compensando la dispersión cromática, soportando grandes cantidades de tráfico a 10Gbps y posiblemente hasta 40 Gbps.

Sistemas Metropolitanos

Las redes Metropolitanas tendrán naturalmente que ser amplificadas (empleo del booster y pre-amplificador), especialmente en los sistemas de telecomunicaciones locales en donde las redes son construidas alrededor de un área metropolitana y en donde las distancias son mucho más cortas (usualmente 100 Km. o menos).

Sistemas Empresariales

Los sistemas Empresariales o short long, son los que utilizan las distancias más cortas; usualmente entre 1 y 10 Km; en este caso los sistemas DWDM serán utilizados para conectarse entre centros de datos múltiples, como una alternativa a la costosa instalación de nuevos cables de fibra y desplazarán poco a poco las conexiones de redes vía Ethernet, Token Ring, FDDI, etc.

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA PARA DWDM

3.1 ANTECEDENTES DE LA FIBRA ÓPTICA

Un principio importante de la física se convirtió en el fundamento teórico para las comunicaciones de fibra óptica: una luz en un medio de vidrio puede llevar más información a través de largas distancias, que la que pueden llevar las señales eléctricas en un medio de cobre o coaxial.

El primer desafío tomado por los científicos era desarrollar un vidrio tan puro que el uno por ciento de la luz fuera retenido al final de un kilómetro, que era la distancia de transmisión sin repetidor para sistemas telefónicos de base de cobre. En términos de atenuación, este 1% de retención de luz se traslada a 20 dB/Km en el material de vidrio.

Investigaciones para desarrollar fibra de vidrio de silicio se hicieron en todo el mundo en los años 60, pero fue hasta 1970 cuando los científicos crearon una fibra con una medida de atenuación menor a 20 dB/Km.

Los adelantos en la pureza combinada con sistemas electrónicos avanzados, permite a la fibra transmitir señales claras de luz digitalizada más allá de 100 Km sin amplificadores. Además, cuando comparamos con los primeros niveles de atenuación de 20 dB/Km, hoy en día los niveles son de 0.35 dB/Km a 1310 nm y de 0.25 dB/Km a 1550 nm. De este modo, las fibras ópticas han sustituido completamente a los cables coaxiales.

Actualmente la fibra que se utiliza para DWDM debe tener un ancho de banda suficiente, para poder llevar el contenido espectral de la señal óptica, y un coeficiente de atenuación lo menor posible.

3.2 EL ESPECTRO ÓPTICO

El espectro óptico representa la descomposición de la luz blanca en todos los colores del espectro y posee en sí misma todos los colores del espectro solar.

El espectro de frecuencia de luz se puede dividir en tres zonas o bandas generales:

1.**Infrarroja.**- Zona de longitudes de onda de luz que son demasiado grandes para ser vista por el ojo humano.

2.**Visible.**- Zona de longitudes de onda de luz a las cuales la retina es sensible.

3. **Ultravioleta.**- Zona de longitudes de onda de luz que son demasiado cortas para ser vistas por el ojo humano.

La luz es una onda electromagnética que se desplaza mediante fotones de luz. Como cualquier onda tiene sus propios parámetros tales como frecuencia y amplitud.

La velocidad de propagación es igual para todas las frecuencias de luz en el espacio libre, sin embargo en materiales más densos que el espacio libre, todas las frecuencias de luz no se propagan a la misma velocidad.

Cuando se trata con ondas electromagnéticas de frecuencia superior tales como la luz, es común usar unidades de longitudes de onda (λ) en vez de frecuencia.

La longitud de onda (λ) representa el período espacial de una onda, es decir la distancia o camino de una oscilación completa.

Matemáticamente una longitud de onda es:

$$\lambda = c / f$$

En donde λ : es la longitud de onda (nm)

c : velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

f : frecuencia (Hertz)

Colores del espectro óptico.- Son: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta.

En la figura 3.1 vemos que la luz visible ocupa solamente la reducida zona que va desde los 380 nm (violeta) hasta los 780 nm (rojo).

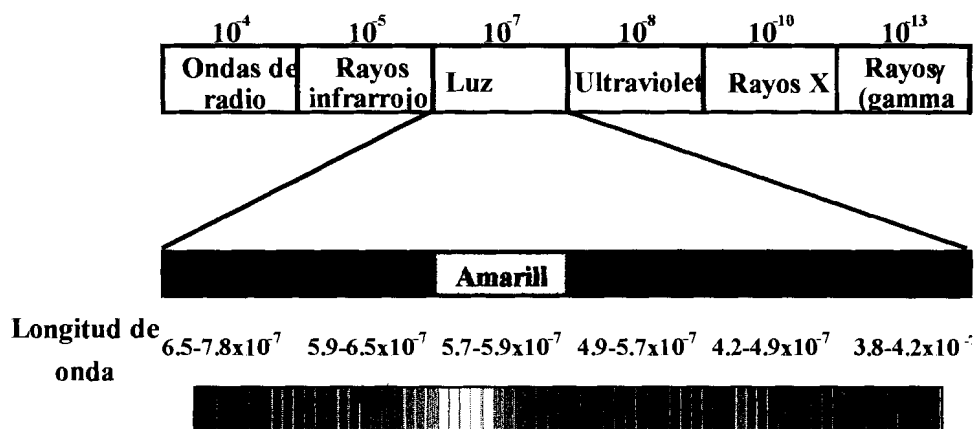


Figura 3.1 Colores del espectro óptico.

3.3 VENTANAS DE OPERACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

En las telecomunicaciones por fibra óptica se utilizan las longitudes de onda de la zona infrarroja que van desde los 800 a 1625 nm, siendo los valores preferidos: 850, 1310, 1550 y 1625 nm por sus bajas pérdidas de atenuación.

Los primeros sistemas desarrollados operaron alrededor de los 850nm, que es la primera ventana basada en fibra óptica de silicio. Pronto, aparece una segunda ventana (banda S) en 1310nm, mejorando a la anterior porque la atenuación es más baja (0.35 dB/Km), seguida de una tercera ventana (banda C), la que ha sido dividida por algunos fabricantes en dos sub-bandas: la Azul y la Roja, en 1550nm con una pérdida óptica más baja aún (0.25 dB/Km), actualmente existe una cuarta ventana

(banda L) cerca de los 1625nm que ha sido empleada por los sistemas DWDM y una quinta ventana que ha sido definida en dos etapas: la primera se usó para redes LAN/MAN sin necesidad de EDFAs y la nueva que es una ampliación de la primera.

La atenuación es mayor si trabajamos en la primera ventana y menor si lo hacemos en la cuarta. Las cuatro principales ventanas usadas en Comunicaciones Ópticas se ilustran en la figura 3.2

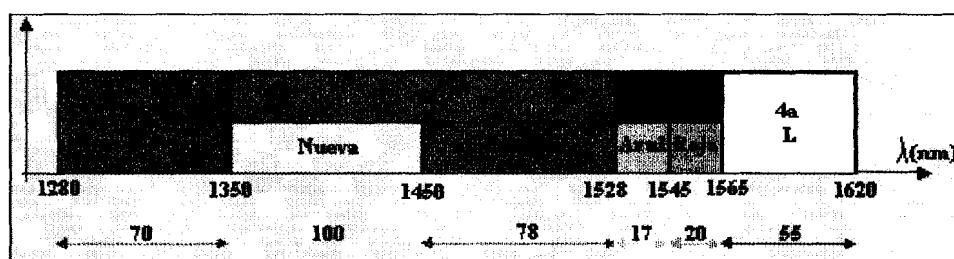


Figura 3.2 Ventanas de operación de la fibra óptica.

3.4 LEYES FUNDAMENTALES DE LA ÓPTICA

Las leyes fundamentales de la óptica son dos: Ley de Refracción y Ley de Reflexión.

3.4.1 LEY DE REFRACCIÓN

Si un rayo luminoso incide con un ángulo θ_i de modo oblicuo desde una sustancia ópticamente menos densa (Ej: aire) a otra más densa (Ej: vidrio), su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción θ_r (figura 3.3).

Para una sustancia isotrópica, o sea un medio material que presenta idénticas propiedades en todas sus direcciones, vale la ley de refracción de Snell:

El cociente entre el seno del ángulo de incidencia θ_i y el seno de ángulo de refracción θ_r , es constante e igual a la relación de las velocidades de la luz c_1 / c_2 en ambas sustancias.

$$(\text{Sen } \theta_i / \text{Sen } \theta_r) = (c_1/c_2)$$

θ_i : ángulo de incidencia

θ_r : ángulo de refracción

c_1 : velocidad de la luz en la sustancia 1

c_2 : velocidad de la luz en la sustancia 2

De dos sustancias transparentes, se consideran más densa aquella que posee menor velocidad de propagación de la luz.

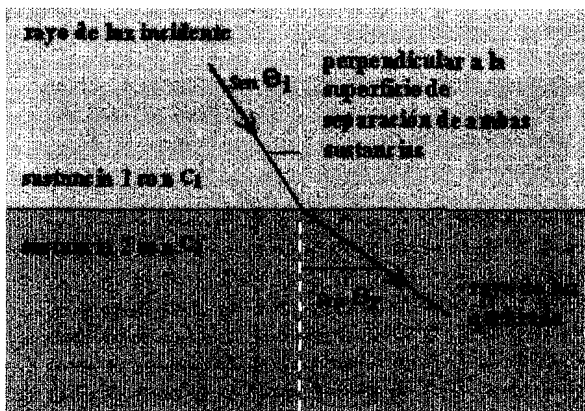


Figura 3.3 Refracción de la luz.

3.4.2 LEY DE REFLEXIÓN

Cuando una onda luminosa incide sobre la superficie de separación de dos sustancias, una fracción de la misma se refleja (figura 3.4). La proporción de la luz reflejada es función del ángulo θ_i que forma el rayo de luz incidente con la perpendicular a la superficie de separación.

Para el rayo luminoso reflejado y el ángulo θ_t que éste forma con la perpendicular a la superficie de separación de la sustancia presenta las siguientes características:

- Se mantiene en el plano formado por el rayo luminoso incidente y la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias.
- Se halla en el semiplano opuesto (en relación con el rayo luminoso incidente a la perpendicular) a la superficie de separación de las sustancias.
- Tiene los ángulos de incidencia y de reflexión iguales ($\theta_i = \theta_t$).

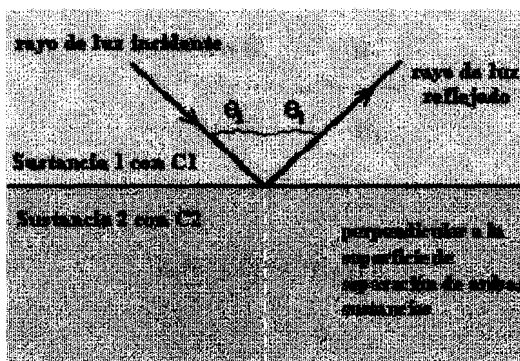


Figura 3.4 Reflexión de la luz.

3.4.2.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción de cierto material se define como la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío (c) y la velocidad de propagación de la luz en dicho material (c_j).

Mientras más cercano a 1 es el índice de refracción de algún material, mayor es la velocidad y más transparente es dicho material.

$$n_i = \frac{c}{c_j} \geq 1$$

Como $n_1 = c / c_1$ y $n_2 = c / c_2$ tenemos que la Ley de Snell (Fig. 3.5) queda de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Sen } \theta_i}{\text{Sen } \theta_t} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$n_1 \text{Sen } \theta_i = n_2 \text{Sen } \theta_t$$

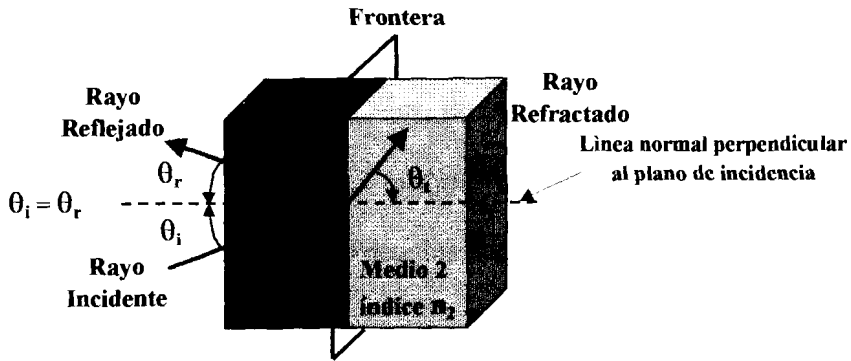


Figura 3.5 Índice de refracción.

Se pueden dar tres casos (ver Fig. 3.6) cuando la luz pasa de un material con índice de refracción n_1 a otro material con índice de refracción n_2 .

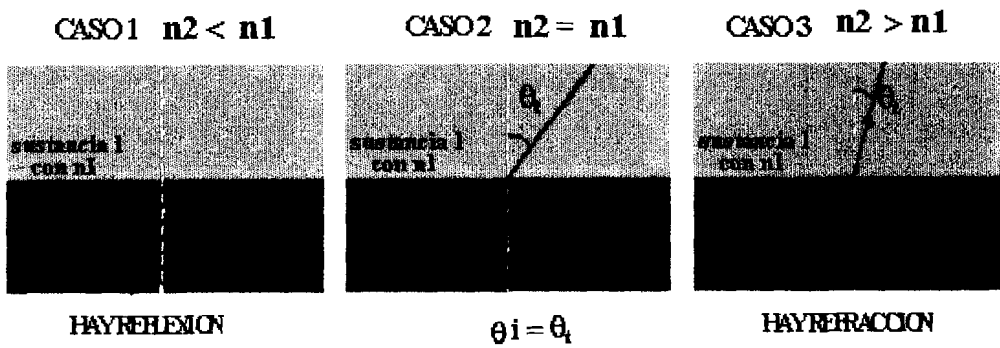


Figura 3.6 Casos de la propagación de la luz.

3.4.2.2 ÁNGULO CRÍTICO

Se define, como ángulo crítico al ángulo de incidencia mínimo en el cual un haz de luz incide sobre la superficie de dos medios, resultando un ángulo de refracción de 90° .

El rayo refractado puede formar un ángulo mayor a 90° con la normal, en otros casos el rayo refractado posee un ángulo de 90° con respecto a la normal, por lo que avanza justo a lo largo de la superficie de separación entre ambos medios. Y si el ángulo de incidencia se hace mayor que el ángulo crítico, los rayos de luz serán totalmente reflejados.

La reflexión total no puede producirse cuando la luz pasa de un medio menos denso a otro más denso. Las tres ilustraciones de la figura 3.7 muestran la refracción ordinaria, la refracción en el ángulo crítico y la reflexión total.

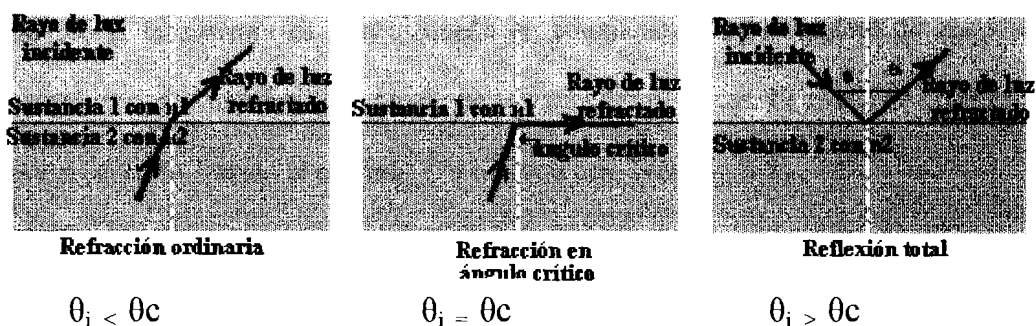


Figura 3.7 Ángulo crítico

3.5 DIFRACCIÓN

La difracción es la desviación de la trayectoria rectilínea de la luz, cuando pasa a través de una apertura pequeña, una rendija o una rejilla (con dimensiones comparables a las longitudes de onda).



Este fenómeno es el resultado de la interferencia producida por un gran número o una distribución continua de fuentes coherentes.

Según el principio de Huygens, cada punto de la rendija actúa como una fuente de ondas, entonces la luz que sale de cada punto de la rendija puede interferir con la luz que sale de los otros puntos de la rendija y la intensidad resultante dependerá de θ .

Cuando la luz con una longitud de onda λ , incide sobre una barrera que tiene una abertura circular cuyo diámetro es mayor que la longitud de onda, casi no hay difracción y la luz continúa su movimiento en línea recta; si la abertura es similar a la longitud de onda, entonces la luz al salir se dispersa en todas las direcciones; en cambio si la abertura es muy pequeña en comparación a la longitud de onda, se considera como una fuente puntual que emite ondas esféricas. El efecto de difracción es más notorio cuando el cociente λ/d tiende a cero (ver Fig. 3.8).

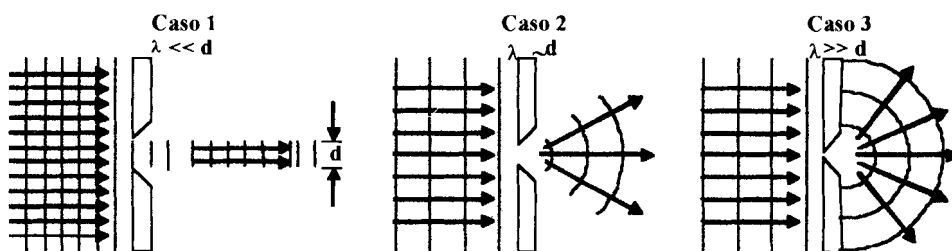


Figura 3.8 Difracción de la luz.

3.6 ESTRUCTURA DE LA FIBRA ÓPTICA

Los constituyentes de la fibra óptica son: núcleo, recubrimiento y revestimiento.

- El **núcleo** (core) es la parte más interna de la fibra con un índice de refracción n_1 , es el que guía la luz.
- El **recubrimiento** (cladding) con un índice de refracción n_2 , es la parte que rodea y protege al núcleo.
- El **revestimiento** (coating) es el que rodea a su vez al recubrimiento que resguarda contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno a la fibra.

El núcleo y el recubrimiento son hechos a base de vidrio (sílica), la diferencia está en que el núcleo se dopa y con ello se obtiene un valor de índice de refracción mayor.

En la figura 3.9 se muestra la estructura de una fibra óptica.

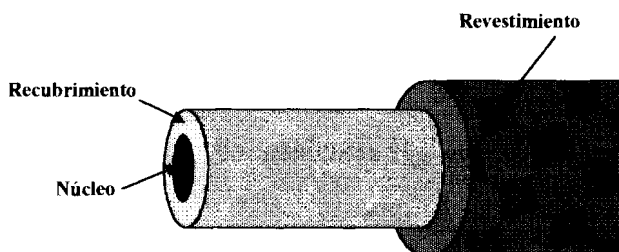


Figura 3.9 Estructura de la fibra óptica.

3.7 REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN DE LA LUZ EN LA FIBRA ÓPTICA

- Primero se debe incidir con cierto ángulo sobre la frontera aire-núcleo para que el haz de luz entre en la fibra.

- Ese mismo ángulo se tiene que hacer incidir en la frontera núcleo-recubrimiento para que el haz rebote a lo largo del núcleo y así es como logramos la transmisión de la luz adentro de una fibra óptica.

Como se muestra en la figura 3.10 se debe incidir con cierto ángulo, para que la luz no se refracte y siga viajando por el núcleo.

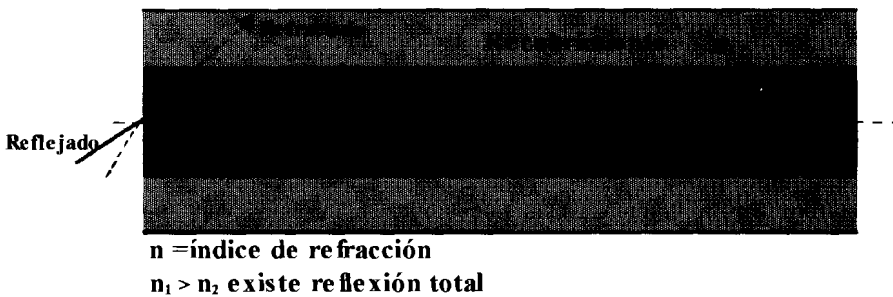


Figura 3.10 Principio de la reflexión total.

3.8 PROPAGACIÓN DE LA LUZ EN LA FIBRA ÓPTICA

A fin de tener un ángulo de incidencia θ_{IB} mayor al ángulo crítico de la frontera núcleo-recubrimiento, se debe incidir en la frontera aire-núcleo con un ángulo θ_{1A} menor al ángulo de aceptación.

El ángulo de aceptación en el punto A se da cuando se tiene el ángulo crítico en el punto B (con n del aire = 1).

El ángulo de aceptación solamente depende de los índices de refracción del núcleo y del recubrimiento.

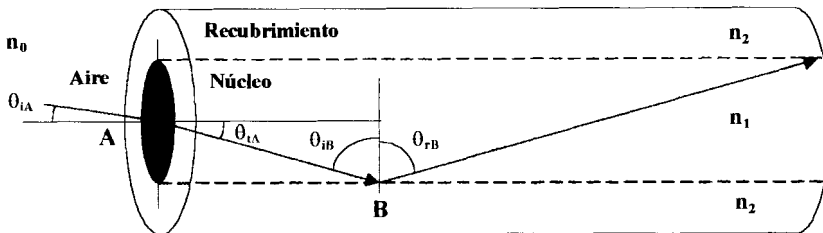


Figura 3.11 Propagación de la luz.

3.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

3.9.1 VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Las ventajas que presenta la fibra óptica son las siguientes:

- Alta capacidad, es decir gran ancho de banda. Con las técnicas de multiplexación se puede aumentar la capacidad de transmisión sin necesidad de cambiar la fibra y de hacer nuevas instalaciones en algunos casos.
- Baja atenuación.
- Inmunidad al ruido.
- No genera interferencias, por lo tanto no hay diafonías entre fibras de un mismo cable.
- Independencia de la frecuencia: no ecualización.
- La fibra no pierde luz, por lo que la transmisión es segura.

- Compatibilidad con la tecnología digital.
- Fácil de instalar.
- Facilidad de mantenimiento.
- Tamaño y peso reducido. Cables más ligeros, pequeños y flexibles.
- Insensibilidad a la interferencia electromagnética. Puede pasar el cable de fibra al lado de conductores que transporten grandes cantidades de energía.
- Material base abundante.
- Distancia grande entre repetidores.
- Grandes velocidades en la transmisión de datos.
- No requieren cañería de protección mecánica y eléctrica dedicada.
- Comparte una bandeja con cables de energía, aún de alta tensión o frecuencia, o al aire con mínimas fijaciones.
- La fibra es una tecnología probada, sencilla, sumamente estandarizada y de altísima confiabilidad.
- Al no conducir electricidad no existe riesgo de incendios por arcos eléctricos.
- La fibra óptica es resistente a la corrosión y a las altas temperaturas. Gracias a la protección de la envoltura es capaz de soportar esfuerzos elevados de tensión en la instalación.
- Menor pérdida de potencia, lo que implica una menor necesidad de colocar repetidores cada cierta distancia abaratando así los costos del sistema.
- La fibra óptica se revela como el sistema más rentable por su relación calidad-precio en muchas ocasiones y se perfila como la opción obligada en el futuro inmediato.

3.9.2 DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Algunas desventajas del uso de fibra óptica son:

- Costo inicial.
- Los sistemas de transmisión son más caros.
- Los conectores son más caros que los usados en cables metálicos.
- Fragilidad de la fibra.
- Son más sensibles a las curvaturas.
- Su manejo exige capacitación del personal.
- La conectorización exige el manejo de nuevas técnicas y herramientas.
- Disponibilidad limitada de conectores.
- Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.
- La canalización para redes de larga distancia tiene sus complicaciones.

3.10 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Existen dos categorías de fibra óptica: Monomodo y Multimodo.

3.10.1 FIBRA MULTIMODO

Fueron las primeras en ser comercializadas, a finales de los 70's. Tienen un núcleo más grande que las monomodo, se propagan en más de un modo de la misma longitud de onda es decir que una haz de luz toma diferentes

trayectorias (ver figura 3.12). Adicionalmente, el diámetro más grande del núcleo de la fibra multimodo, facilita el uso de transmisores y conectores ópticos de bajo costo.



Figura 3.12 Propagación de la luz en una fibra multimodo.

3.10.1.1 MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO

Los núcleos de la fibra tienen un índice de refracción constante n_1 y los recubrimientos presentan un n_2 ligeramente menor al del núcleo. Fueron las primeras fibras en aparecer, presentan las atenuaciones más altas y están fuera del mercado.

3.10.1.2 MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL

El valor del índice de refracción del núcleo varía según el radio del mismo núcleo, el cambio no es abrupto sino suavizado hasta llegar al n_2 del recubrimiento. Se mejoran los retardos por dispersión ya que los modos se reflejan al mismo nivel, se siguen usando por su costo.

3.10.2 FIBRA MONOMODO

Tienen un núcleo más pequeño permitiendo que solamente un modo de luz se propague a través del núcleo (ver figura 3.13). El diseño de este tipo de fibra mantiene la integridad de la señal óptica y la dispersión modal muy reducida, lo que hace posible que más información sea transmitida a través de largas distancias. Por estos factores se prefiere la fibra monomodo para aplicaciones que exigen mayor ancho de banda lo que incluye a DWDM.



Figura 3.13 Propagación de la luz en una fibra monomodo.

3.11 TAMAÑO DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

El estándar internacional del diámetro del revestimiento exterior de la mayoría de las fibras ópticas monomodo es de 125 micras para el vidrio y de 245 micras para la capa exterior. El estándar de las fibras monomodo es fabricar con un tamaño pequeño el núcleo, aproximadamente de 8 a 10 micras de diámetro. Las fibras multimodo tienen un núcleo entre 50 a 100 micras de diámetro, son utilizadas para aplicaciones específicas, tal como una transmisión de datos a corta distancia. En la figura 3.14 se muestran algunos tamaños de fibras ópticas.

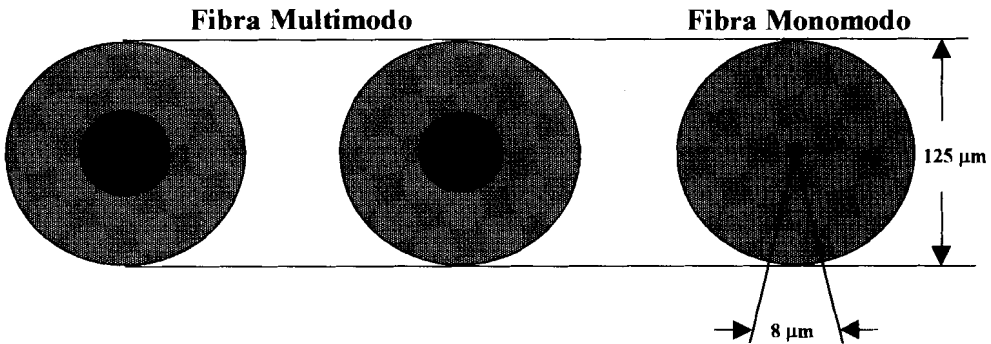


Figura 3.14 Tamaño de las fibras ópticas.

3.12 PARÁMETROS DE LA FIBRA ÓPTICA

3.12.1 ÁNGULO Y CONO DE ACEPTACIÓN

El ángulo de aceptación θ_a es el máximo ángulo en el cual los rayos de luz externos pueden chocar con la interfase aire/fibra y aún propagarse por la fibra, además al girar el ángulo alrededor del eje de la fibra describe el cono de aceptación, que es la región donde se asegura que los rayos incidentes se propagarán por la fibra óptica (ver Fig. 3.15).

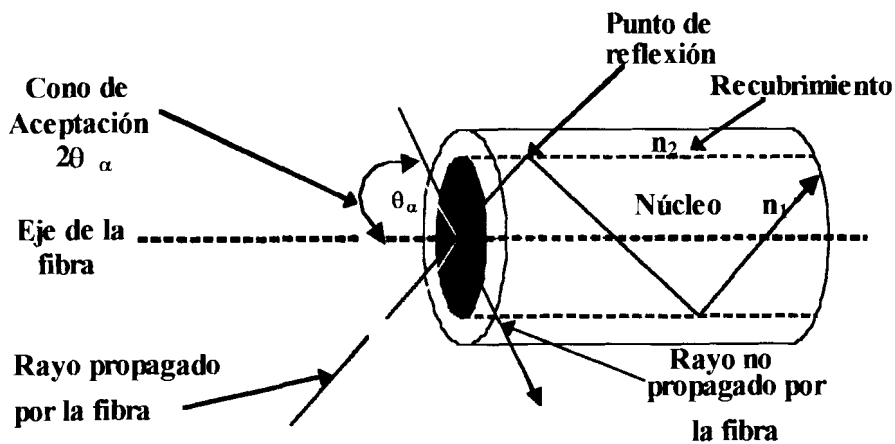


Figura 3.15 Cono y ángulo de aceptación.

3.12.2 APERTURA NUMÉRICA (AN)

Se denomina así al seno del máximo ángulo de acoplamiento posible a la entrada de la fibra óptica. Se usa para describir la unión de la luz o habilidad para recoger la luz de una fibra óptica. El valor de AN se encuentra normalizado en el entorno de 0.2 (tolerancia 10%) para FO multimodo de índice gradual 50/125 μm (ITU-T G.651). No se indica en cambio, un valor de AN para FO monomodo ITU-T G.652/653/654, siendo estas usadas en sistemas SDH y G.655 usada en sistemas DWDM.

El valor de la apertura numérica no posee unidad y se expresa como:

$$AN = \text{sen } \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

3.12.3 PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN (n)

Se denomina así a la variación radial del índice de refracción del conductor de la fibra óptica desde el eje del núcleo hacia la periferia del recubrimiento.

$$n = n(r)$$

La propagación de los modos en el conductor de fibra óptica depende de la forma de este perfil de índices de refracción, obteniéndose tres tipos de perfiles (ver Fig. 3.16):

Perfil triangular $g = 1$

Perfil gradual $g = 2$

Perfil escalonado $g = \infty$

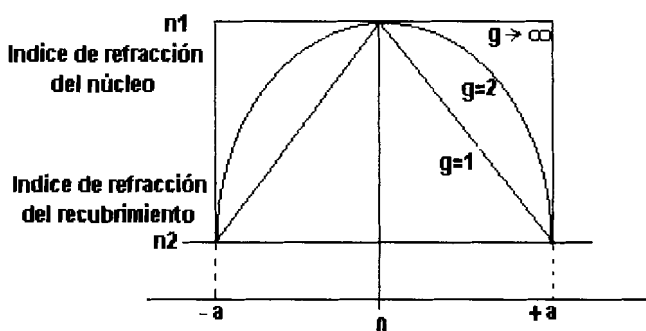


Figura 3.16 Perfil de índice de refracción.

Únicamente en el último caso, el perfil escalonado posee un índice de refracción constante en el núcleo. En los otros perfiles, el índice de refracción

$n(r)$ en el núcleo se incrementa en forma gradual desde el valor n_2 en el recubrimiento hasta el n_1 en el eje del conductor de fibra óptica.

Variando el perfil del índice de refracción se obtienen las FO con dispersión cromática desplazada a 1550nm (ITU-T G.653/654).

3.12.4 DIMENSIONES DEL NÚCLEO Y DEL RECUBRIMIENTO

Las dimensiones se definen mediante el diámetro, con lo cual queda determinado el tipo de propagación multimodo o monomodo. Las FO multimodo para las telecomunicaciones tienen normalizado el diámetro del núcleo y recubrimiento en 50 y 125 μm con tolerancias de 6% y 2.4% respectivamente. Se indican: un error de concentricidad entre ambos del 6%; un error de circularidad del núcleo del 6% y del recubrimiento del 2%. Las FO monomodo tienen los mismos valores de diámetro y tolerancia para el recubrimiento que las multimodo; en cuanto al núcleo, éste se define por el diámetro del campo modal.

3.12.5 DIÁMETRO DEL CAMPO MODAL

Este valor reemplaza al diámetro del núcleo y está comprendido entre 8 y 10 μm como valor nominal con una tolerancia del 10%.

En fibras ópticas monomodo no se define la apertura numérica (AN), pero se utiliza el diámetro del campo modal.

3.12.6 ERROR DE CONCENTRICIDAD

El error de concentricidad (ver Fig. 3.17) se determina de la siguiente manera:

$$\text{Error} = \frac{D_x}{\text{Diámetro del Núcleo}}$$

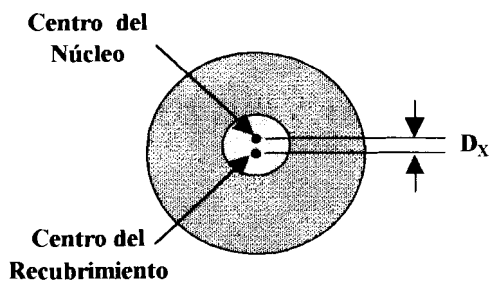


Figura 3.17 Error de concentricidad.

3.12.7 ERROR DE NO CIRCULARIDAD

En la figura 3.18 se muestra el error de no circularidad, el cual se determina de la siguiente manera:

$$\text{Error} = \frac{D_{\text{ext}} - D_{\text{int}}}{\text{Diámetro del Núcleo}}$$

La no circularidad se da tanto para el núcleo como para el recubrimiento.

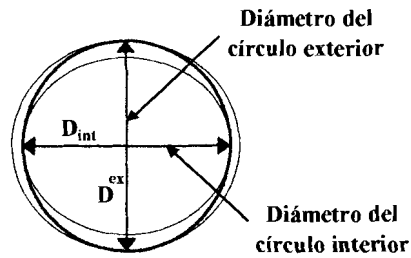


Figura 3.18 Error de no circularidad.

3.13 PARÁMETROS MECÁNICOS DEL CABLE

3.13.1 TIPO DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Los componentes del cable quedarán determinados por el tipo de instalación, capacidad de transmisión, tipo de alimentación de las repetidoras, supervisión, etc. Por lo que se tendrá en cuenta:

- Elemento de tracción: metálico o plástico.
- Recubrimiento de la FO: suelto o adherente.
- Agrupación: simple o múltiple.
- Conductores metálicos.
- Rellenos de plásticos: mantienen la uniformidad cilíndrica.
- Núcleo del cable: relleno con gel.
- Cubierta metálica: de Al o acero; plano o corrugado.
- Vaina exterior: de PVC o compuestos libres de halógenos.

3.13.2 NÚMERO DE FIBRA ÓPTICA

El número de FO debe contemplar la cantidad de sistemas en funcionamiento inicial, las ampliaciones futuras y las FO de reserva para reparación o conmutación. La conmutación puede ser del tipo (1+1 o N +M) lo cual requiere de un par de FO adicionales.

3.13.3 LONGITUD DEL CABLE

La longitud de cada tramo del cable a instalar depende del tipo de método de instalación y las condiciones ambientales (estado de las cámaras de registro, conductos, subconductos, estados de postes y riostras, tipo de terreno, etc.). El valor promedio alcanzable por tramo y para cada tipo de instalación será de 5 Km. En enlaces por ductos urbanos el valor promedio será de 3 Km.

3.13.4 CALIDAD DE LAS UNIONES

El número de uniones depende del largo del cable. Además se consideran 2 uniones en los extremos del cable que estarán ubicadas en la central telefónica correspondiente y donde se conecta el cable multifibra con el cable monofibra del equipo terminal para fibra óptica.

3.14 PROBLEMAS EN LA TRANSMISIÓN

La transmisión de luz presenta varios desafíos frente a las propiedades lineales y no lineales de la fibra óptica.

Los dos principales problemas en la transmisión a través de la fibra óptica son: *la atenuación y la dispersión*. Ambos efectos distorsionan la señal e incrementan la probabilidad de que el receptor cometa errores en la detección de la señal.

3.15 ATENUACIÓN

Atenuación significa que decae la señal óptica, es decir que disminuye la amplitud de los pulsos a medida que la señal se propaga en el interior de la fibra, esto afecta a la S/N de la señal. La atenuación es causada por factores intrínsecos y por factores extrínsecos que incluyen el proceso de manufacturación, el ambiente y el torcimiento físico.

La figura 3.19 muestra el espectro de la curva de atenuación de una típica fibra óptica hecha de silicio. La curva tiene tres características principales, una gran tendencia de atenuarse conforme disminuye la longitud de onda (Dispersión Rayleigh), atenuación en los picos de absorción asociados con el ión hidroxyl (OH^-), y 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. La atenuación se da porque los fotones son absorbidos por las moléculas del material. Un fotón es absorbido cuando su energía es igual a la diferencia de potencial entre dos bandas de energía.

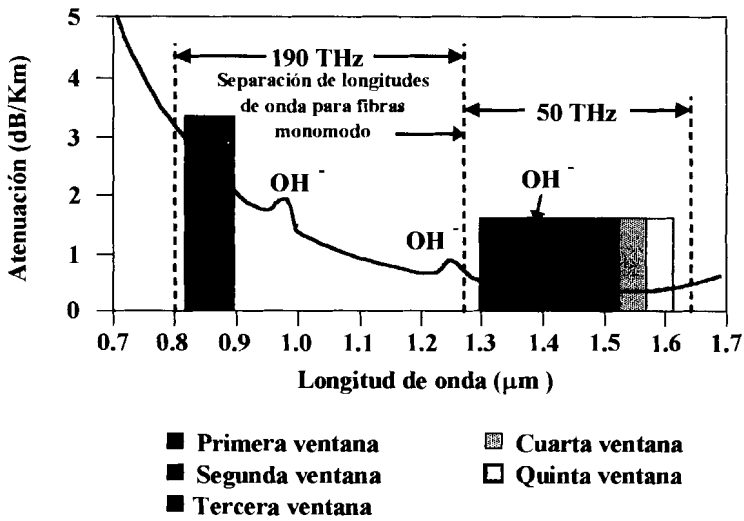


Figura 3.19 Atenuación de una Típica Fibra Óptica hecha de Silicio.

La longitud de la fibra óptica, así como la longitud de onda que se propaga por medio de ella, constituye factores esenciales que afectan la atenuación. La figura 3.20 muestra la pérdida en decibelios por kilómetros (dB/Km) para la dispersión Rayleigh, la absorción intrínseca y la atenuación total causada por ambos efectos.

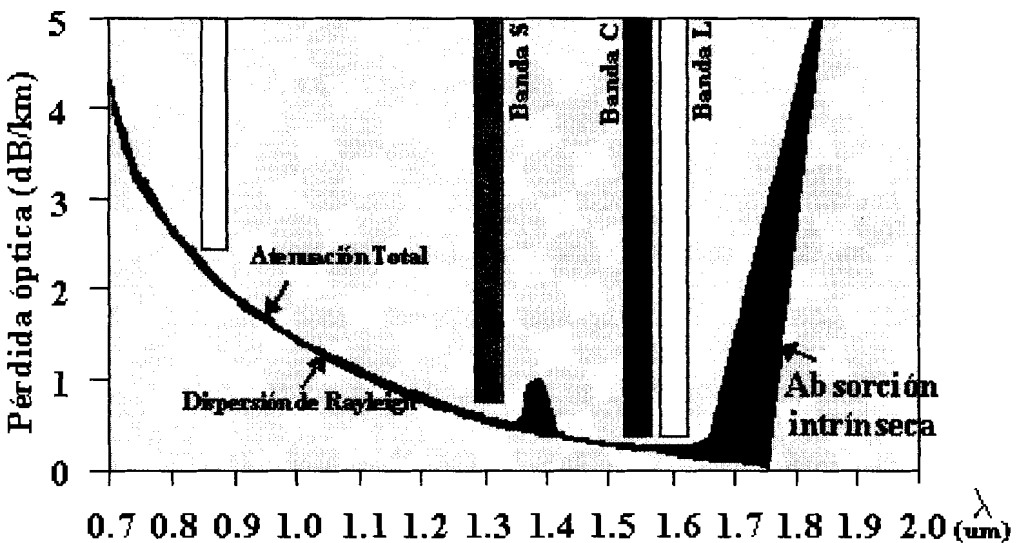


Figura 3.20 Curva de atenuación total.

3.15.1 FACTORES QUE PRODUCEN ATENUACIÓN

3.15.1.1 ABSORCIÓN DEL MATERIAL

- Absorción intrínseca.- Producida por el material del núcleo.
- Absorción extrínseca.- Producidas por las impurezas.

La atenuación debido a la absorción es causada por impurezas y cualquier defecto atómico en el vidrio. Las impurezas absorben la potencia óptica, es decir absorben la luz y la convierten en calor, reduciendo el pulso lumínico (ver figura 3.21)

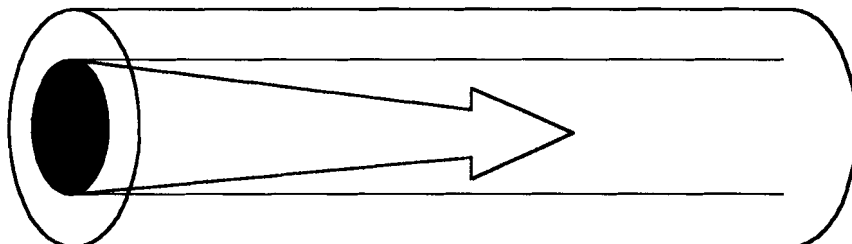


Figura 3.21 Absorción en la fibra óptica.

La absorción es primordial en longitudes de ondas largas y se incrementa dramáticamente por encima de los 1700 nm. Sin embargo, éste tampoco es un problema para DWDM, debido a la introducción de los nuevos procesos de fabricación, que disminuyen los restos de agua en la fibra. Además los sistemas actuales que emplean DWDM operan alrededor de los 1600nm.

3.15.1.2 PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN LINEAL

La dispersión más común es la dispersión de Rayleigh (ver figura 3.22), que consiste en la desviación de los rayos luminosos y es provocada por pequeñas variaciones en la densidad del vidrio (cuando éste se enfría durante el proceso de fabricación se desarrollan irregularidades) que causa que los rayos de luz choquen contra estas impurezas y que se escapan por el recubrimiento de la fibra, lo que representa una pérdida en la potencia de la luz.

Estas variaciones son tan pequeñas mientras mayor sea la longitud de onda usada y por consiguiente este hecho afecta a las longitudes de ondas cortas más que a las longitudes de ondas largas y limita el uso de longitudes de ondas inferiores a 800 nm, por tanto no es un problema para DWDM.

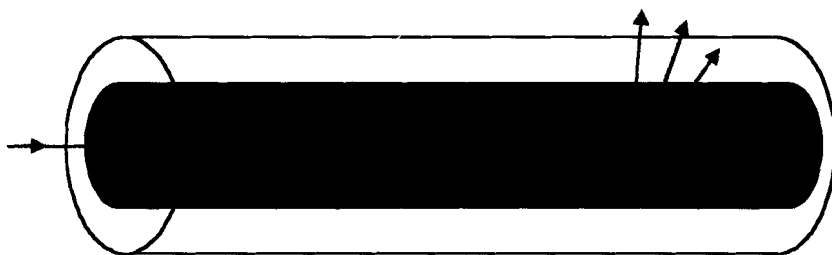


Figura 3.22 Dispersión Rayleigh.

3.15.1.3 PÉRDIDAS POR CURVATURAS

Existen dos tipos de curvaturas: *las microcurvaturas y las macrocurvaturas* que se dan en el momento de tender el cable de fibra óptica.

En el interior del cable, una fibra puede no seguir una trayectoria rigurosamente recta, y por el contrario sufrir curvaturas. Debido a las curvaturas los ángulos de incidencia cambian, e incluso pueden desaparecer la reflexión interna total y no haber propagación.

En una fibra con curvaturas se produce un desacoplamiento de la energía, perdiéndose una parte y creándose una zona por donde se drena constantemente esa energía. La densidad de potencia del modo fundamental se extiende fuera del área del núcleo si la longitud de onda es superior a la longitud de onda de corte lo cual origina pérdidas por propagación en el recubrimiento. Por ello la longitud de onda de aplicación debe encontrarse entre la longitud de onda de corte y 1.3 de la misma onda de corte.

Además de las curvaturas continuas en la fibra, el cableado puede causar microcurvaturas, que son pequeñas curvaturas que se repiten a lo largo de la fibra. La microcurvaturas ocurre como un resultado de las diferencias en las relaciones de la contracción térmica entre el núcleo y el material del recubrimiento, también se presentan como resultado de esfuerzos mecánicos. Las microcurvaturas representan

una discontinuidad en la fibra, en donde se puede dar la dispersión de Rayleigh.

Para evitar las microcurvaturas se puede recubrir la fibra con una capa protectora relativamente blanda, gracias a la cual los efectos de la rigurosidad de las superficies en contacto con la fibra no se transmitan fácilmente a ésta. Además se debe tener mucho cuidado con el manejo e instalación del cable de fibra óptica para que cumpla con las especificaciones mínimas para el radio de las macrocurvaturas.

3.15.1.4 PÉRDIDAS EN EMPALMES Y CONECTORES

Los conectores y los empalmes provocarán reflexiones y atenuaciones, efectos que se deben mantener en valores adecuados.

La conectores para fibra óptica están diseñados para minimizar estos problemas por lo que se debe realizar una conectorización con mucho cuidado; además las puntas de las fibras deben estar cortadas lo más perpendicular posible y deben de ser pulidas.

Estos efectos se pueden producir por: *mala alineación lateral, mala alineación angular, mala alineación de la separación y acabado de superficie imperfecta.*

3.16 DISPERSIÓN

La dispersión es un efecto que consiste en el ensanchamiento del pulso óptico asociado a la transmisión del pulso a lo largo de la fibra óptica (figura 3.23), que limita la capacidad de la fibra es decir que afecta al ancho de banda.

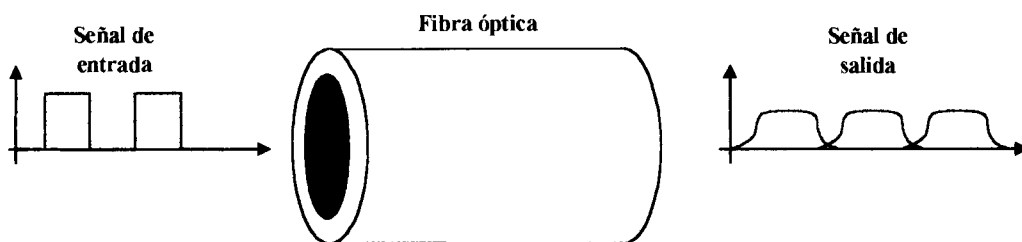


Figura 3.23 Dispersión.

Existen dos tipos de dispersión que afectan a DWDM: Una lineal, que es la dispersión cromática y otra no lineal que es la dispersión por modo de polarización (PMD).

3.16.1 DISPERSIÓN CROMÁTICA

Este efecto es un componente principal en las fibras monomodo, también llamada cromática dado que las fuentes no emiten una sola frecuencia (no son estrictamente monocromáticas), sino una banda y ya que el haz de luz está compuesto por varias longitudes de onda, la luz se refracta diferente y sigue distintas trayectorias por la fibra, por lo que cada longitud de onda dentro de una señal de luz compuesta viaja a una velocidad de luz diferente, entonces al otro extremo de la fibra óptica no llegarán los rayos de luz al mismo tiempo,

lo que da como resultado una señal de recepción distorsionada. Debido a este efecto se emplean fuentes láser que tienen un ancho espectral mucho menor.

Además este fenómeno ocurre debido a la dependencia del índice de refracción del núcleo en función de la longitud de onda.

En las fibras multimodo este efecto es despreciable, pero en las fibras monomodo debe de considerarse.

Así tenemos el parámetro M que indica la dependencia del índice de refracción en función de la longitud de onda y que varía para cada material, además nos indica la cantidad de ensanchamiento medida en picosegundos que le ocurre a un pulso con un ancho de banda de 1 nm mientras se propaga a través de 1 Km de fibra.

$$\tau = \Delta\lambda L M$$

Donde:

τ = Ensanchamiento rms del pulso

$\Delta\lambda$ = Ancho Espectral del haz [nm]

L = Longitud de la fibra [Km]

M = Parámetro de dispersión del material [ps / (nm x Km)]

La dispersión cromática, es el resultado de la adición de la dispersión del material y de la dispersión de guía de onda (Ver Fig.3.24)

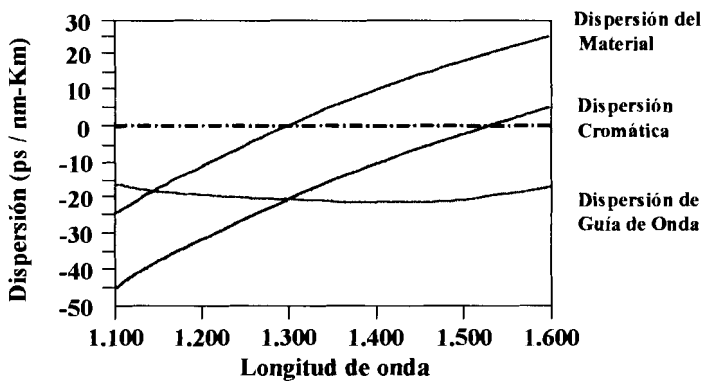


Figura 3.24 Dispersión Cromática.

Aunque la dispersión cromática no es un problema para velocidades inferiores a 2.5 Gbps, ésta incrementa a razones más altas de bits debido a un mayor ancho espectral requerido. Pero los nuevos tipos de fibra NZDSF reduce altamente estos efectos. Además este fenómeno puede mitigarse con los compensadores de dispersión.

La figura 3.25 muestra como la dispersión cromática cambia con la longitud de onda para tres diferentes tipos de fibra.

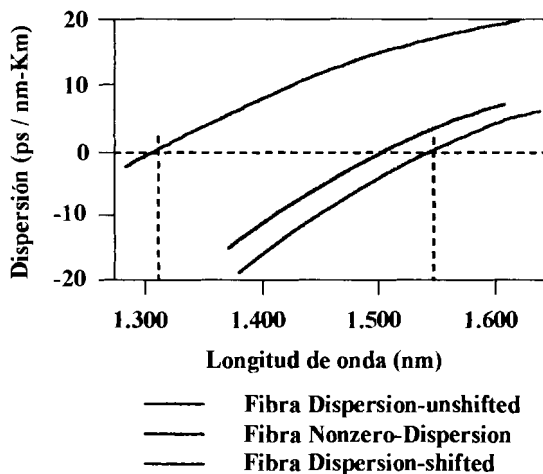


Figura 3.25 Dispersión Cromática de 3 diferentes tipos de fibra.

Dispersión del material.- Se produce cuando las longitudes de onda viajan a velocidades distintas a través del vidrio. Una fuente de luz, no importa cuán estrecha sea, emite varias longitudes de onda dentro de un rango establecido. Estas longitudes de onda viajan a través del material y cada una de ellas llega en tiempo diferente a la otra.

La dispersión del material depende de las características de dispersión de los dopantes y del silicio.

Dispersión de guía de onda.- Ocurre por la variación de los índices de refracción en el núcleo y el revestimiento de la fibra. El índice de refracción, varía de acuerdo a las longitudes de onda, como sigue:

- En longitudes de ondas cortas, la luz es bien confinada en el interior del núcleo. Así el índice de refracción eficaz es cercano al índice de refracción del núcleo.
- En longitudes de ondas media, el pulso lumínico se ensancha, introduciéndose parte de la luz en el recubrimiento. Esto reduce la efectividad del índice de refracción.
- En longitudes de ondas largas, gran parte del pulso lumínico se esparce hacia el recubrimiento. Esto causa que el índice de refracción eficaz, esté muy cerca al índice de refracción del recubrimiento.

Como resultado de la dispersión de la guía de onda, la propagación de una o más onda se retrasa con respecto a otras.

Existen además otros efectos que afectan la transmisión a través de la fibra óptica.

3.17 EFECTOS NO LINEALES

Se manifiestan cuando son muy altos los niveles de potencia óptica en la fibra y en los amplificadores ópticos, provocando señales que interactúan con la fibra, en las cuales produce una variedad de efectos no lineales.

Los efectos lineales como atenuación y dispersión pueden ser mitigados, no ocurriendo lo mismo con los efectos no lineales; estos son fundamentales para DWDM, ya que limitan la capacidad de transmisión de la fibra óptica.

En los sistemas ópticos los efectos no lineales causan pérdida de señal, ruido, cross-talk y ensanchamiento del pulso; pero a su vez son la base para la construcción de láseres, amplificadores ópticos, compensadores de dispersión y otros dispositivos.

Los efectos no lineales más importantes con los que se enfrenta la multiplexación densa en longitud de onda caen dentro de dos categorías: dispersión (dispersión por modo de polarización y dispersión estimulada) e índices de fluctuación refractivos.

Hay dos formas de dispersión estimulada: la de Raman (SRS) y la de Brillouin (SBS).

Además los efectos no lineales de los índices de refracción caen dentro de cuatro categorías: Automodulación de fase (SPM), Modulación de fase cruzada (XMP), Inestabilidad de Modulación (MP) y Mezcla de cuatro ondas (FWM), siendo este último el más crítico en sistemas DWDM.

3.17.1 DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN (PMD)

Polarización es la propiedad de la luz, la cual está relacionada con la dirección de sus vibraciones. La polarización está relacionada a la dirección que provoca la resonancia de la luz dentro de la fibra óptica y por medio de esta resonancia es que la luz se propaga a través de la fibra. La luz en la fibra óptica puede vibrar en uno o dos modos de polarización.

La mayoría de las fibras monomodo soportan dos modos de polarización perpendiculares; una vertical y otra horizontal. Como estos estados de polarizaciones no se mantienen, produce interacción entre los pulsos causando interferencias en los canales (isolation).

Cada eje representa una polarización, la diferencia en los tiempos de llegada de los dos modos de polarización se conoce como PMD, esto es causado porque el núcleo de la fibra no es simétrico.

La figura 3.26 muestra los dos modos principales de una fibra asimétrica que es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje Y es etiquetado en el

modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD), es típicamente medida en picosegundos.

Cuando no es apropiadamente controlado, PMD puede producir errores excesivos en los bits para la transmisión en sistemas digitales, además de ensanchamiento y distorsión de los pulsos, lo que ocasiona que el receptor óptico no pueda distinguir los pulsos individuales.

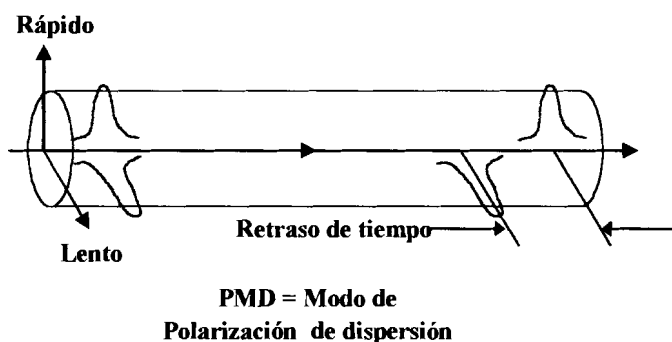


Figura 3.26 PMD en una Fibra Monomodo.

Este tipo de dispersión se debe a la curvatura en el contorno de la fibra, causado en el proceso de fabricación o por factores externos a los que se expone la fibra.

PMD a diferencia de la dispersión cromática cambia a través del tiempo y no es generalmente un problema para velocidades menores a STM-64 (10Gbps).

Este efecto se lo puede controlar utilizando controladores de polarización o por selección de la fibra adecuada.

3.17.2 DISPERSIÓN ESTIMULADA DE RAMAN (SRS)

El efecto SRS (Stimulated Raman Scattering), consiste en la transferencia de potencia entre una señal a una longitud de onda corta a otra señal a una longitud de onda larga. La interacción de las longitudes de onda con las moléculas del material de la fibra produce la dispersión de la luz y de este modo la transferencia de potencia entre las dos longitudes de onda. El máximo SRS es experimentado a dos señales separadas por 13.2 THz, y aumenta exponencialmente cuando se incrementa la potencia.

Afecta la calidad de la señal, produciendo cross-talk entre canales y ganancia no plana (inclinada) de la señal DWDM (Fig. 3.27). Este efecto de ganancia desigual provoca sobre amplificación en un extremo de la banda y problemas de ruido en el otro extremo de la banda.

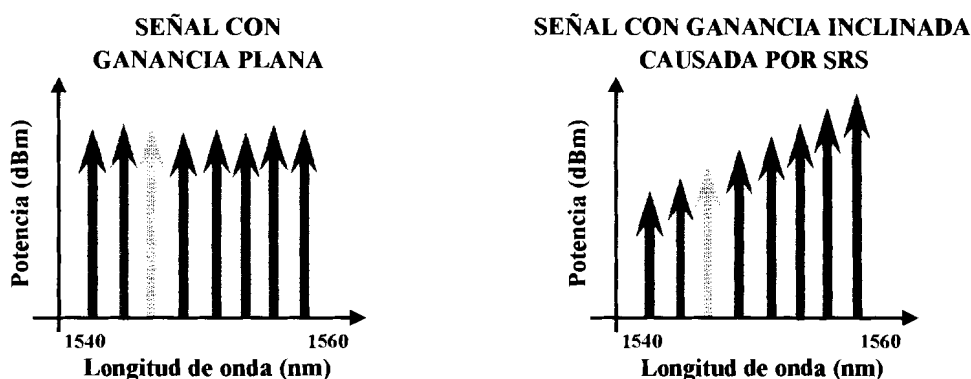


Figura 3.27 Fenómeno de SRS.

3.17.3 *DISPERSIÓN ESTIMULADA DE BRILLOUIN (SBS)*

Es causada por la interacción entre la señal óptica y ondas acústica en la fibra, como resultado la potencia de la señal óptica se dispersa hacia el transmisor afectando a cada canal en un sistema DWDM.

3.17.4 *AUTO MODULACIÓN DE FASE (SPM)*

El efecto SPM (Self-Phase Modulation), consiste básicamente en la generación de frecuencias espurias en el entorno del pulso, que a causa del efecto de dispersión viajan a diferentes velocidades y provocan un estrechamiento o ensanchamiento del pulso en base al perfil de dispersión de la fibra, lo que degrada la transmisión.



Figura 3.28: Automodulación de fase

3.17.5 *MODULACIÓN DE FASE CRUZADA (XPM)*

El efecto XPM (Cross-Phase Modulation), sucede cuando dos o más canales transmiten simultáneamente por medio de portadoras diferentes dentro de la misma fibra óptica.

Consiste en la variación del índice de refracción del material de la fibra con la potencia óptica de la señal, generando distorsión (cross-talk) entre canales adyacentes.

Se controla monitorizando cuidadosamente el espaciado entre canales, así como las tolerancias de los emisores láser. Este efecto depende del total de canales y de la potencia de cada canal, siendo entonces un factor de limitación de potencia. Este efecto no lineal es el doble de efectivo que el SPM para la misma cantidad de potencia.

3.17.6 INESTABILIDAD DE MODULACIÓN (MI)

El efecto MI (Modulation Instability), se produce cuando un pulso tiene una longitud de onda de operación sobre el punto (λ) de dispersión cero de la fibra, lo que ocasiona el ensanchamiento del pulso y además dos pulsos son simétricamente generados a cada lado del pulso original.

Afecta la S/N y se lo considera un caso especial de FWM; lo podemos reducir operando a bajos niveles de energía y/o a longitudes de onda bajo el punto (λ) de dispersión cero.

3.17.7 MEZCLA DE CUATRO ONDAS (FWM)

El efecto FWM (Four Wave Mixing) es producido por la naturaleza no lineal del índice de refracción de la fibra y puede describirse como un proceso en el cual interactúan tres frecuencias que se propagan, las cuales originan una cuarta longitud de onda (ver figura 3.29).

Cuando la longitud de onda generada tiene la misma amplitud que uno de los canales modulados, la calidad de la señal transmitida por este canal se degrada considerablemente. Esto implica en el entorno DWDM una importante limitación para la transmisión multicanal o de múltiples longitudes de ondas en la fibra.

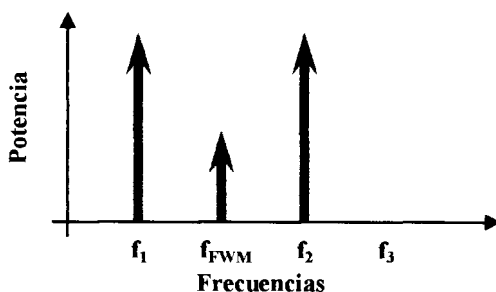


Figura 3.29 Mezcla de cuatro ondas.

Debido a esto se generan importantes interferencias entre canales, un efecto conocido normalmente como cross-talk, y degradación de la relación señal a ruido. Este hecho limita la capacidad de canales en sistemas que emplean DWDM.

FWM no puede ser filtrado en la salida ni ópticamente, ni eléctricamente, y se incrementa con la longitud de la fibra, además de incrementarse exponencialmente cuando aumenta la potencia de la señal.

3.17.7.1 CONTROL DEL EFECTO FWM

Este efecto FWM se puede controlar mediante unos monitores suficientemente preciso de los niveles de potencia, así como de la relación señal a ruido en el amplificador óptico EDFA. También se lo puede reducir asegurando que los tres canales que generan la longitud de onda la propaguen a la misma velocidad, es decir, que la dispersión cromática de la fibra no sea cero.

3.18 FIBRAS CON DISPERSIÓN MODIFICADA

Se modifica las fibras monomodo para optimizar la dispersión a cierta longitud de onda o para un rango de ellas.

Se lo logra ajustando parámetros de la fibra (dimensiones, diferencias de índices, añadiendo dopantes, etc.). El mejor método es modificando el perfil del índice de refracción usando dopantes.

Hay dos tipos:

- *Dispersión corrida o desplazada*
- *Dispersión suavizada o aplanada.*

3.19 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA PARA DWDM

Básicamente se pueden considerar tres tipos de fibra en el entorno DWDM que cumplen con las recomendaciones de la UIT-T y son:

- Fibra monomodo convencional o estándar (SSMF), G.652
- Fibra de dispersión corrida o modificada (DSF), G.653
- Fibra de dispersión corrida o modificada no cero (NZ-DSF), G.655

3.19.1 FIBRA ESTANDAR (SSMF)

Este tipo de fibra monomodo estándar, comúnmente llamada standard single mode fiber (SSMF), ha sido diseñada para trabajar en la segunda ventana, se caracteriza por tener una dispersión elevada y una pérdida moderada. Cumple con las recomendaciones G.652 de la UIT-T, tiene un centro de dopado con una dispersión cromática típica de alrededor de +17 ps/nm.Km a 1550nm con una pérdida de 0.2 dB/Km, además tiene su punto de dispersión cero aproximadamente en los 1310 nm.

El tipo de dispersión que aparece mayoritariamente en este tipo de fibra es la dispersión cromática, y dos efectos no lineales que generan un nivel de dispersión apreciable como son SPM (automodulación de fase) y XMP (modulación de fase cruzada).

Este tipo de fibra es apropiada para TDM (único canal), usada en la región de los 1310nm o para DWDM en la tercera ventana (1550nm), utilizando compensadores de dispersión.

Otra especificación de la fibra SSMF, tiene un centro de sílice puro que cumple con la recomendación G.654 de la UIT-T, tiene una pérdida baja (típicamente 0.18 dB/Km) y una dispersión cromática ligeramente más grande (típicamente +20 ps/nm.Km).

3.19.2 FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA (DSF)

El otro tipo de fibra según la recomendación G.653 de la UIT-T se lo conoce también mediante las siglas DSF (dispersion shifted fiber). Debido a que su diseño se basa en un desplazamiento de la llamada longitud de onda de dispersión cero (aproximadamente entre 1520 y 1580 nm). Esta fibra ofrece dos ventajas: atenuación más baja y su frecuencia de operación es igual a la de los amplificadores de fibra dopadas con erbio (EDFA). Sin embargo, sus características de dispersión limitan severamente su uso, es adecuada para TDM en la región de los 1550nm, pero no satisface los requerimientos de DWDM en esta región.

3.19.3 FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO CERO (NZDSF)

La tercera y última generación de fibra, denominadas NZDSF (Non Zero Dispersión Shifted fiber), que cumple con la recomendación G.655 de la UIT; proporciona una mínima y una máxima cantidad de dispersión cromática

especificada sobre una porción de la tercera ventana de longitud de onda, suficiente para evitar las interacciones entre los canales. Es diseñada específicamente para las aplicaciones de DWDM y para el uso de las últimas generaciones de sistemas amplificados.

La finalidad de este diseño es disminuir la dispersión en los 1550 nm, pero no reducirla a cero. Esta estrategia introduce eficazmente un control entre la dispersión y efectos no lineales tal como FWM, que limitan el funcionamiento de sistemas DWDM.

Esta fibra es la mejor recomendación para ambas técnicas de multiplexado TDM y WDM.

Existen diferentes versiones de fibra NZSDF, dependiendo de la dispersión cromática exacta, el área eficaz y la curva de dispersión cromática. La fibra NZSDF tiene una atenuación similar a la SSMF (0.2dB/Km), mientras que la dispersión cromática se encuentra normalmente dentro del rango de 4 a 11.2 ps/nm.Km. El NZSDF tiene un área eficaz entre 50 y 70 μm .

El diseño de estas fibras se basa en técnicas de gestión de la dispersión, de forma que la dispersión total acumulada a lo largo de todo el camino de transmisión sea cero, con lo cual se evita el ensanchamiento del pulso, al

mismo tiempo que se utiliza la propia dispersión para compensar los efectos no lineales asociados a elevadas potencias que se manejan en los EDFA.

Se ha desarrollado en la actualidad un tipo de NZDSF, que es el resultado de perfeccionar todo los aspectos mencionados, esta fibra ofrece una dispersión cromática moderada de alrededor de 8 ps/nm.Km y un área eficaz de $65\mu\text{m}^2$. Esta fibra ya se ha usado en laboratorio para la transmisión de 150 canales a 10 Gbps sobre tres tramos de 100km en las bandas C y L.

3.20 CABLE ÓPTICO

Las principales funciones del cable es proteger y dar robustez a las fibras que contiene, para facilitar su manejo. Debe tener un elemento de refuerzo mecánico que soporte la tensión ejercida sobre el cable. Existen cables de una sola fibra o de múltiples fibras.

Varían en su estructura en función de la aplicación deseada. La estructura que si está generalizada es la de cada cable óptico

Los cables de fibra óptica se ofrecen en carretes de 2 a 15 Km.

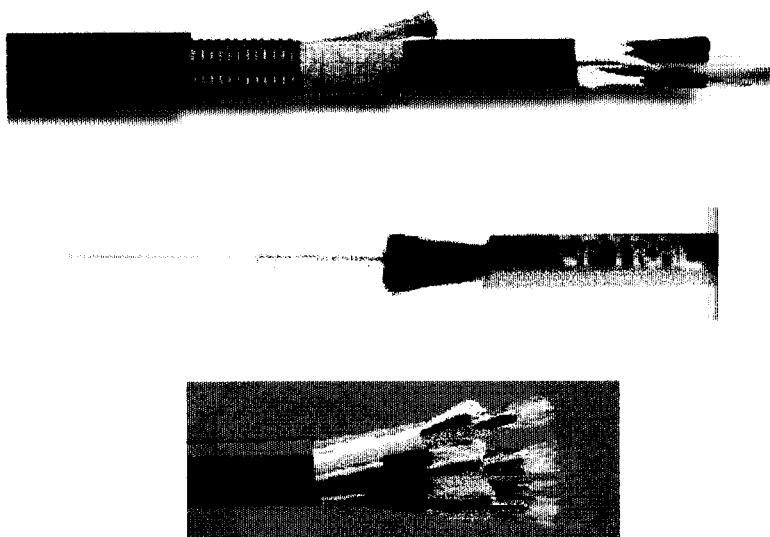


Figura. 3.30 Cables ópticos.

3.20.1 SELECCIÓN DE CABLE ÓPTICO

La selección del cable óptico se realiza tomando en cuenta los siguientes factores:

Agentes Externos

- Humedad
- Presencia de roedores

Forma de instalación

- Canalizada
- Aérea
- Enterrada

Lugar de instalación

- Exterior
- Interior

Número de fibras**Tipo de fibra****Costo*****3.21 CONECTORES***

Los conectores sirven para unir la fibra óptica con el equipo de transmisión o las fibras ópticas entre sí. Además permiten la conexión y desconexión en repetidas veces.

Tienen características de atenuación y reflexión similares a las de un empalme. Soportan condiciones ambientales tales como: temperatura, humedad, etc.

La estandarización es impuesta por el fabricante. En el futuro tendrán requerimientos como:

- Ser cada vez más rápidos y fáciles de armar
- Reducir reflexiones y atenuaciones
- Reducir costos
- Brindar protección y seguridad

3.21.1 TIPOS DE CONECTORES

A continuación se presentan las principales características de los tipos de conectores empleados en nuestro sistema DWDM:

- Fiber Conector (FC)
- Subscriber Conector (SC)



3.21.1.1 FIBER CONECTOR (FC)

Conector caro, requiere de maquinaria especial (pulidoras).

Posee las siguientes características:

- Atenuación de 0.2 – 0.3 dB.
- Reflexiones de 45 hasta 70 dB.
- Normalmente para fibras monomodo, pero existe para multimodo.
- Conector de tipo rosca.

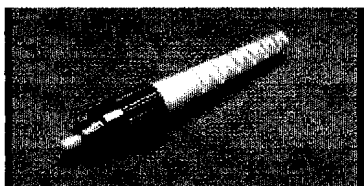


Figura 3.31 Conector FC.

3.21.1.2 SUSCRIBER CONECTOR (SC)

Derivado del FC que contempla aplicaciones futuras (Ver Fig. 3.32), no necesita gran espacio, pero requiere de maquinaria para su montaje.

Posee las siguientes características:

- Pérdida de inserción de 0.5 dB.
- Pérdida por retorno de 35 dB.
- Reconexiones > 1000 veces.
- Por lo general de color azul y fácil de enchufar.

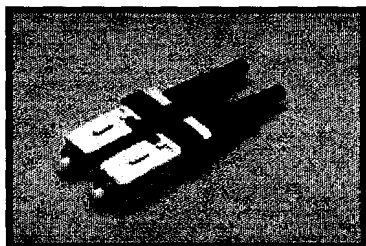


Figura 3.32 Conector SC.

3.21.2 PROPIEDADES PARA ELEGIR UN CONECTOR

Para la selección del tipo de conector se toma en cuenta éstos factores:

- Tipo de contacto
- Tipo de conector
- Atenuación

- Pérdidas por retorno
- Rango de temperatura
- Durabilidad / repetibilidad
- Tensión máxima soportada
- Con protección
- Facilidad de ensamblaje

3.22 EMPALMES

El empalme es la técnica utilizada para unir permanentemente dos fibras ópticas en una conexión con bajas pérdidas. Los empalmes dependerán de la longitud de los carretes del cable de fibra óptica que vamos a utilizar.

1.- Empalmes mecánicos

- Pérdidas de 0.1 dB a 0.8 dB
- Adecuados para campo
- Equipo de empalme más económico
- Conector pequeño de fibra que alinea dos fibras desnudas de manera precisa y las asegura mecánicamente.
- Se usan resortes y cubiertas adhesivas
- Existen de dos tipos: permanentes ó reentrante.

La longitud que se pelan los cables para realizar los empalmes es de aproximadamente 5 cm.

2.- Empalmes de fusión

Son empalmes permanentes y se realizan con máquinas empalmadoras, manuales o automáticas (Ver Fig. 3.33), que luego de cargarles las fibras sin revestimiento y cortadas a 90° realizan un alineamiento de los núcleos de una y otra, para luego fusionarlas con un arco eléctrico producido entre dos electrodos.

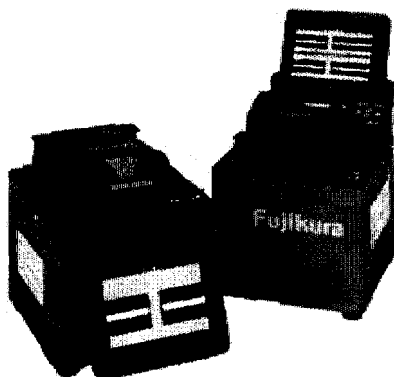


Figura 3.33 Máquinas empalmadoras.

Este tipo de empalmes tiene las siguientes características:

- Pérdidas de 0.01a 0.1 dB para fibras monomodo o multimodo.
- Dificultades para realizarlos en campo
- Equipo caro, voluminoso y difícil de manejar. Se requiere de destreza y entrenamiento del operador.

- Consta de una fuente de calor que puede ser: Resistencia eléctrica, láser de CO₂, arco eléctrico, etc.

Los pasos que se siguen para empalmar por fusión son básicamente:

Limpieza y corte de la fibra óptica, prefusión y fusión de la interfaz, y protección y verificación del empalme.

La limpieza incluye la retirada de todos los elementos que recubren y protegen al conductor de fibra óptica utilizando materiales adecuados.

La prefusión y fusión consiste en el alineamiento de los extremos de las fibras y previamente en el redondeo de los extremos.

La fusión se realiza por tiempo prolongado y con una presión axial para evitar el estrangulamiento del material en la interfaz.

La temperatura que se alcanza en la juntura es de aproximadamente 2000 °C y el tiempo es de 3,5 seg.

La protección primaria se la realiza con resina epóxica ó un mango termocontraíble con gel copolímero (etileno vinil acetato)

La protección mecánica es un cable de acero y la protección secundaria por lo general es una capa exterior cilíndrica de nylon.

La verificación consiste de dos pasos: Prueba de tracción (pesa de 250 gramos en el empalme) y prueba de atenuación (OTDR).

Los empalmes exteriores se protegen dentro de una caja de empalme (Ver Fig. 3.34), la cual posee en un extremo unos tubos cerrados que se cortarán en su extremo por donde deba pasar un cable, para luego sellarse con termocontraibles. La caja posee una tapa que se cierra sobre la base con una abrazadera.

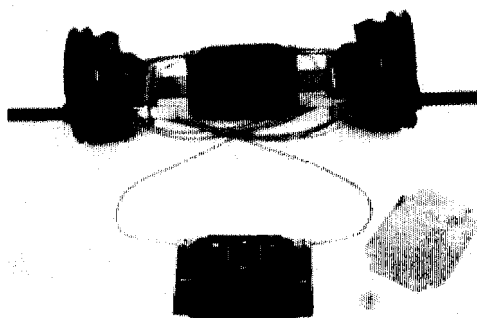


Figura 3.34 Caja de empalmes.

También están los cassettes o bandejas donde se sitúan la reserva de FO desnuda y los empalmes. Del otro lado de las bandejas hay espacio para situar la reserva, aunque puede existir una bandeja para tal fin.

3.22.1 PARÁMETROS DE UN EMPALME DE FUSIÓN

Los parámetros de un empalme de fusión se muestran a continuación:

- Tipo de fibra
 - Corriente de limpiado
 - Tiempo de limpiado
 - Corriente de prefusión
 - Tiempo de prefusión
 - Corriente de fusión
 - Tiempo de fusión
 - Separación
 - Diámetro de recubrimiento
 - Atenuación por empalme
 - Pérdidas por reflexión
-

CAPÍTULO IV

COMPONENTES ÓPTICOS

1 INTRODUCCIÓN

En Comunicaciones Ópticas los componentes claves son: la fuente de luz monocromática, la fibra óptica, y el fotodetector o receptor. En cambio en los sistemas DWDM de comunicaciones ópticas existen además de los tres componentes claves otros elementos, como: multiplexores y demultiplexores ópticos, OADMs, filtros, amplificadores ópticos y convertidores de longitud de onda entre otros.

DWDM es una tecnología que depende directamente de los componentes ópticos (Fig. 4.1).

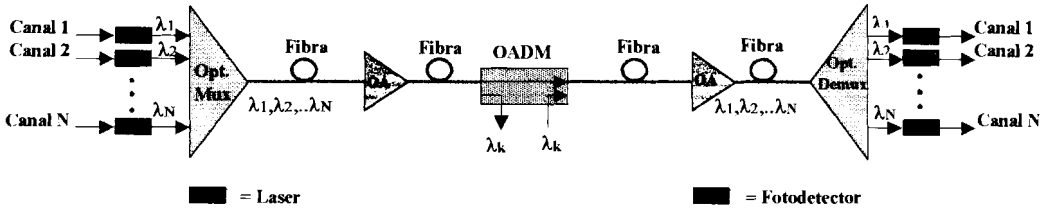


Figura 4.1 DWDM punto a punto con algunos de los componentes ópticos.

4.2 EMISORES O FUENTES DE LUZ

Las funciones de transmisión en las redes ópticas están a cargo de los emisores de luz. Las fuentes o emisores de luz (Fig. 4.2) son dispositivos que transmiten señales ópticas, además de que convierten las señales eléctricas en pulsos de luz, este proceso de conversión o modulación puede ser hecho directamente por el dispositivo de emisión o por moduladores externos.

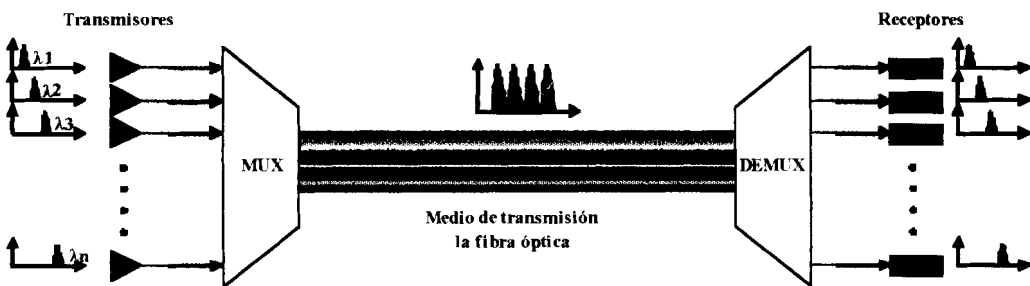


Figura 4.2 Transmisores y receptores de longitudes de onda.

Los sistemas DWDM usan diferentes fuentes que son láseres emisores a diferentes longitudes de onda, y que operan en el interior de la rejilla estándar que corresponde a la

norma UIT-T G.692. Además poseen un ancho espectral muy pequeño (del orden de 0.2 nm), a fin de poder introducir la mayor cantidad de longitudes de onda dentro de una fibra óptica.

Cada longitud de onda en DWDM requerirá entonces de un sistema de fuente para producir determinada longitud de onda si el láser es fijo o de el uso de un sólo láser sintonizable.

4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL LÁSER

Las características del láser son las siguientes:

Coherencia

- Ondas individuales de luz con la misma fase y estabilidad de longitud de onda (+/- 0.1nm)

Longitud de onda de operación

- Valor de la portadora a la que trabaja el láser.
- Valor fijo o variable (láser sintonizable).

Ventana de operación

- Ventana óptica en la que trabaja el láser.
- La fuente debe ser compatible con la ventana de operación de la fibra óptica.

Los láseres utilizados en DWDM además de poseer las características anteriormente mencionadas, deben cumplir con los siguientes requerimientos:

Ancho espectral

El ancho espectral necesario depende del número de canales usados en cada uno de los sistemas a implementar y de la tolerancia de sus componentes, como por ejemplo los multiplexores. Generalmente, cuanto más estrecho es el ancho espectral, mejor es el láser. Se deben de tener valores pequeños, para tener el mayor número de portadoras o canales ópticos; estos valores se han reducido a 2, 1, 0.8, 0.4 y 0.2 nm.

Estabilidad de longitud de onda

Generalmente en comunicaciones ópticas, para minimizar los efectos de la dispersión y el ruido, es necesario una estabilidad de longitud de onda muy alta. Sin embargo en DWDM se necesita minimizar constantemente las variaciones de longitud de onda ya que podrían provocar errores en el sistema.

La estabilidad de la longitud de onda aparte de la velocidad de transmisión también depende de la temperatura (como lo vemos en la figura 4.3), para lo cual se incorpora en el láser un regulador de temperatura.

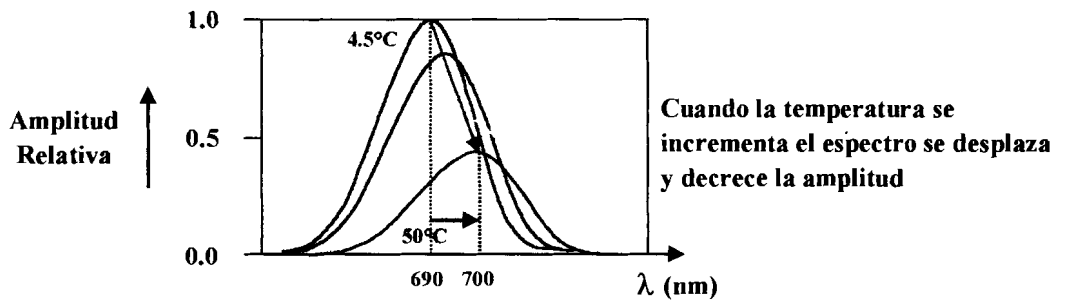


Fig. 4.3 El espectro y amplitud de la señal también depende de la temperatura.

Sintonización

La capacidad de sintonización es necesaria en las redes ópticas para su rendimiento.

Es importante que la sintonización en el transmisor y receptor sea rápida.

4.2.2 LÁSERES

Un diodo láser (emisor) es un dispositivo semiconductor capaz de emitir luz coherente con un proceso de reflexión interna, convirtiendo la energía eléctrica a óptica. Siendo del tamaño de un cristal de sal de mesa, un diodo láser típico requiere de una fuente de alimentación de 100 a 200 nW y produce de 5 a 10 mW de potencia de salida.

La acción del láser comienza al incrementarse la corriente por medio de la cual un gran exceso de portadoras de carga en la banda de conducción hace posible una fuerte emisión estimulada. Este efecto amplificador producido por una avalancha

de fotones es apoyado por un resonador óptico que en general está conformado por dos espejos planos paralelos semitransparentes.

Los láseres usados actualmente en sistemas DWDM tienen un ancho de banda muy angosto, del orden de 0.2 nm a -20 dB del valor pico; ofrecen longitudes de ondas precisas y estables permitiendo transmitir hasta 200 canales de alta velocidad sobre la misma fibra óptica.

Los láseres pueden ser modulados directamente, sin embargo la modulación directa a elevadas velocidades de transmisión (10-40 Gbps) presenta inconvenientes debido a que la corriente cambia de 1 lógico a un 0 lógico y viceversa, por lo tanto el índice de refracción de la cavidad también varía dinámicamente (cambiando las características resonantes de la cavidad), lo cual causa variación en la estabilidad de la longitud de onda y produce dispersión de la señal óptica lo que no es deseable ya que aumenta innecesariamente el ancho de banda de la misma, lo que hay que evitar. Por eso la modulación externa es usada a éstas velocidades, en cuyo caso los láseres emiten una onda estable. Ver figura 4.4.

Para velocidades menores a 10 Gbps los láseres se modulan directamente aplicando una señal eléctrica a la corriente del láser creando una onda de amplitud modulada.

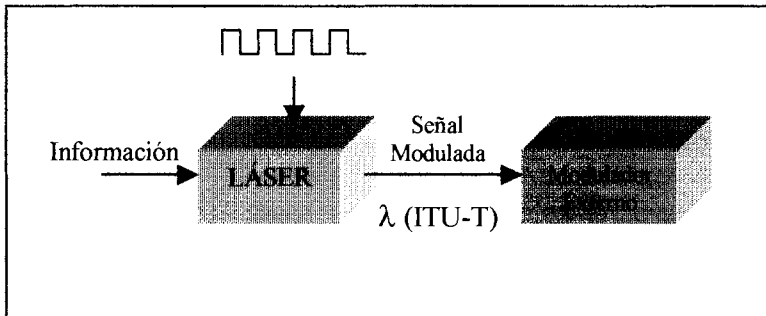


Figura 4.4 Modulación externa de un láser para velocidades superiores a 10Gbps.

Desde que los láseres y moduladores pueden ser hechos con In+Ga+As+P, estos pueden ser integrados monolíticamente en un substrato InP y así producir un dispositivo compacto.

A continuación describimos los tipos de láseres más usados.

4.2.2.1 LÁSERES DE FRECUENCIA ÚNICA

Estos láseres son sintonizados controlando el índice de refracción de la cavidad del láser (el que al variar provoca que la frecuencia cambie) para producir la longitud de onda fija deseada.

4.2.2.2 LÁSERES MULTIFRECUENCIAS SINTONIZABLES

En lugar de utilizar algunos láseres para longitudes de onda fijas lo podemos reemplazar por el denominado láser sintonizable, que permite que nuestra red tenga mayor flexibilidad y capacidad, con reducción en complejidad e inversión, debido a que mantener un láser de repuesto por cada longitud de onda es costoso, y mantener un conjunto de láseres de repuesto significa un perjuicio económico.

Los láseres sintonizables están hecho mediante un arreglo de láseres de diferentes longitudes de onda juntos en un mismo sustrato cuya combinación forma el rango de frecuencias a utilizarse. Los láseres sintonizables son capaces de ajustarse en un rango de longitudes de onda. Este tipo de láser utiliza una sintonización muy rápida e individual donde uno de los láseres del arreglo es seleccionado y éste genera la longitud de onda deseada. Este control se lo realiza por medio de una EEPROM.

Los diodos láser utilizados en la comunicación óptica a larga distancia y a alta velocidad de transmisión de datos comprendido en las ventanas de trabajo de 1300 a 1670 nm se fabrican en estructuras de varias capas formadas por arseniuro fosfuro de indio galio (InGaAsP) y fosfuro de indio (InP) desarrolladas sobre un sustrato de InP (tipo n) con alta impurificación.

Tres principales razones que se deben tomar en cuenta para elegir la utilización de los láseres sintonizables son las siguientes:

- Distancia (Acceso vs. Metropolitano vs. Larga Distancia)
- Espaciamiento de canal (100, 50, 25 GHz)
- Velocidad de transmisión (2.5, 10, 40 Gbps)

Con las diferentes aplicaciones que le podemos dar a la red DWDM tenemos que tomar en cuenta algunos requerimientos del láser como: la potencia de salida, el ancho de banda, el rango sintonizable, el tiempo de sintonización (rapidez de conmutación de la longitud de onda) y la estabilidad para aplicaciones de 2.5 y 10 Gbps.

Además, la velocidad de transmisión también depende de la potencia de salida y de la intensidad de ruido relativo (RIN). Estos valores lo podemos ver en las tablas VI y VII que a continuación se describen:

Tabla VI Requerimientos del láser sintonizable

Aplicación	Potencia de Salida (mW)	Ancho de Banda (MHz)	Rango Sintonizable (nm)	Tiempo de Sintonización (ms)	Estabilidad (nm)
Switching	5 - 20	< 20	> 40	< 5	0.1
OADM	5 - 20		> 40	< 10	
100 GHz		< 20			0.1
50 GHz		< 10			0.12
25 GHz		< 5			0.12
Metropolitano	> 5		> 32	< 15	
100 GHz		< 20			0.1
50 GHz		< 10			0.1
25 GHz		< 5			0.12
Larga distancia	> 10		> 32	< 15	
100 GHz		< 20			0.1
50 GHz		< 10			0.12
25 GHz		< 5			0.3
Ultra larga distancia	> 20		> 32	< 15	
100 GHz		< 5			0.12
50 GHz		< 2			0.12
25 GHz		< 1			0.3

Tabla VII Características del láser sintonizable.

Velocidad (Gbps)	Potencia de salida (mW)	RIN (dB/Hz)
2.5	5-10	< -135
10	10-20	< -140
40	> 40	< -145

En la figura 4.5 se muestra un láser sintonizable.

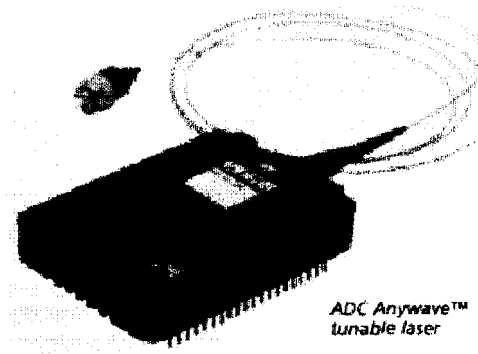


Figura 4.5 Láser sintonizable.

Los principales láseres sintonizables son los siguientes:

- Vertical Cavity Surface Emitting Láser (VCSEL)
- Sample Grating DBR (SGDBR)
- Distributed Bragg Reflector (DBR)
- Distributed Feedback (DFB)
- External Cavity Láser (ECL)

En la tabla VIII se muestran las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías usadas en los láseres.

Tabla VIII Ventajas y desventajas del láser.

Láser	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
VCSEL	Angosto canal de línea Bajo consumo de energía	Baja potencia de salida Usado en longitudes de onda corta (850/1300nm) Bajo Costo	Acceso Metro
SGDBR	Ancho rango sintonizable Rápida velocidad de switcheo	Baja Potencia de Salida Ancho canal de línea Sintonía no continua	Acceso Metro Switching
DBR	Rápida velocidad de switcheo Estabilidad de longitud de onda Alta Potencia de Salida	Ancho canal de línea	Acceso Metro Switching Larga distancia
DFB	Estabilidad de longitud de onda Sintonización continua Alta velocidad de transmisión Alta Potencia de Salida	Rango sintonizable limitado	Metro Larga distancia
ECL	Alta Potencia, Bajo RIN Angosto canal de línea Ancho rango sintonizable	Vibración de sensibilidad Muy Alto Costo	Larga Distancia Ultra Larga Distancia

Los VCSEL de acuerdo al bombeo del láser tienen sus aplicaciones. Así, con un bombeo eléctrico (tabla VIII) se tiene un bajo nivel de potencia de salida, modulación directa y es aplicable para redes de corta distancia

(acceso y metro). Su manufacturación es de bajo costo y así son imposibilitados para aplicaciones de larga distancia.

Los VCSEL con bombeo óptico para aplicaciones de larga distancia necesitan de un amplificador óptico semiconductor (SOA) adicional para amplificar la potencia de salida, pero éste elemento hace que el proceso de manufactura sea complejo y costoso.

Así mismo, los SGDBR con bombeo óptico pueden utilizar un SOA (integrado monolíticamente) para aumentar su potencia y así ser usados en aplicaciones de larga distancia, permitiendo tener espaciamentos de canales de 50 a 100 GHz.

El DBR en cambio, es un láser de banda ancha que provee gran estabilidad y sintonización, y puede tener espaciamentos de canales de 50 a 100 GHz.

EL DFB es un láser de banda angosta que permite una alta velocidad de transmisión, buena estabilidad y sintonización, y ofrece una alta potencia de salida.

El ECL nos permite una alta potencia de salida y un gran rango sintonizable con ancho espectral angosto, características que lo hacen también de muy alto costo.

Es sumamente importante entender todas las ventajas y debilidades en los láseres sintonizables contra nuestros requerimientos cuando consideremos que tipo de láser vamos a necesitar en nuestra aplicación, tomando en cuenta también la potencia de salida, el control de longitud de onda y el volumen de manufactura.

A su vez, entre ellos hacemos otra clasificación de láseres: de banda estrecha y de banda ancha.

Láseres ajustables de banda estrecha.- Proveen 8 canales con espaciado de hasta 50 GHz, dentro de éste grupo se encuentra el láser DFB.

Láseres ajustables de banda ancha.- Proveen 40 canales con el mismo espaciado de hasta 50 GHz, a éste grupo pertenece el láser DBR.

Por lo descrito anteriormente, hemos seleccionado el láser DFB para el diseño de nuestro sistema de transmisión DWDM en particular debido a que usamos menos de 8 canales, el mismo que definimos a continuación.

4.2.2.3 LÁSERES DE RETROALIMENTACIÓN DISTRIBUIDA (DFB)

Los láseres de retroalimentación distribuida (DFB) son elementos críticos para alcanzar altas velocidades de transmisión en sistemas DWDM de



larga distancia a velocidades de 2.5 y 10 Gbps. con potencia de salida alta, entre 10 y 20 mW (para 8 canales).

El láser DFB para 8 canales específicamente está basado en InGaAsP. Una rápida sintonización de longitud de onda se logra con un correcto control de la temperatura y de la corriente, produciéndose a la vez una potencia de salida plana. Es un láser muy seguro para espaciado de canales de 50 y 100 GHz con velocidad de transmisión de 2,5 GHz en específico. Ofrece un gran estabilidad de longitud de onda ($\pm 0.002\text{nm}$) y tiene una alta disponibilidad en el mercado.

Se presenta sellado herméticamente en un paquete mariposa y su salida es acoplada a un pigtail de fibra, como se ve en la figura 4.6

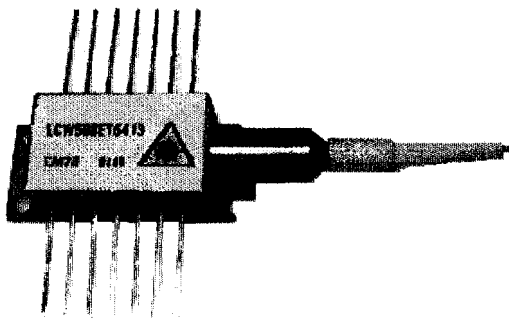


Figura 4.6 Láser sintonizable DFB para 8 canales

Los láseres DFB son fabricados en el nivel específico de la rejilla estándar de la UIT-T G.692, centrados en una longitud de onda para generar longitudes de onda selectas y precisas, permitiendo una capacidad de sintonización dentro de la banda de los EDFAs (1525-1610 nm) y cubre las bandas de trabajo C y L.

En la tabla IX presentamos un resumen de las características del láser DFB de banda estrecha para 8 canales en específico.

Tabla IX Características del láser DFB

# de canales	Banda de trabajo	Espaciamiento (GHz)	Potencia de Salida (mW)	Rango Sintonizable (nm)	Tiempo de Sintonización (ms)	Estabilidad (nm)	RIN (dB/Hz)
8	C y L	50 - 100	10-20	> 6	< 5	0,002	< -140

La recomendación UIT-T G.692 se presenta en la tabla X y es usada para láseres en sistemas DWDM con configuración punto a punto y espaciamiento de 100 GHz entre canales.

Tabla X Recomendación UIT-T G.692.

Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)
196.10	1528.77	164.60	1540.56	193.10	1552.52
196.00	1529.55	194.50	1541.35	193.00	1553.33
195.90	1530.33	194.40	1542.14	192.90	1554.13
195.80	1531.12	194.30	1542.94	195.80	1554.94
195.70	1531.90	194.20	1543.73	192.70	1555.75
195.60	1532.68	194.10	1544.53	192.60	1556.56
195.50	1533.47	194.00	1545.32	195.50	1557.36
195.40	1534.25	193.90	1546.12	192.40	1558.17
195.30	1535.04	193.80	1546.92	192.30	1558.98
195.20	1535.82	193.70	1547.72	192.20	1559.79
195.10	1536.61	193.60	1548.51	192.10	1560.61
195.00	1537.40	193.50	1549.32	192.00	1561.42
194.90	1538.19	192.40	1550.12	191.90	1562.23
194.80	1538.98	193.30	1550.92	191.80	1563.05
194.70	1539.77	193.20	1551.72	191.70	1563.86

La recomendación UIT-T G.692 define un estándar, pero los usuarios están en la libertad de escoger cualquier longitud de onda dentro del espectro, así como el espaciamiento entre canales, números de canales y la velocidad.

1.3 RECEPTORES O DETECTORES DE LUZ

En la recepción es necesario recuperar todas las señales que han sido transmitidas en diferentes longitudes de onda. Las señales ópticas son primero demultiplexadas antes de llegar al detector o fotodetector de luz. Los detectores de luz realizan la función inversa a la de las fuentes, reciben las señales ópticas y las convierten a señales eléctricas.

En lo que se refiere a los dispositivos fotodetectores, existen los dispositivos fotodiodos y fototransistores (se aplican donde se requiere sensibilidad moderada y velocidad media de respuesta de 2 μ s. aproximadamente).

Entre los primeros, existen dos tipos de fotodetectores en la parte receptora de un enlace, dependiendo de la sensibilidad requerida por el sistema, estos son el fotodiodo PIN (positivo-intrínscico-negativo) y el fotodiodo de avalancha APD (Avalanche Photodiode). Dos fotodetectores con una rápida velocidad de respuesta (picosegundos), con una salida limitada para una pequeña cantidad de luz, fácilmente reproducibles, económicos y los primeros candidatos para aplicaciones de comunicaciones ópticas a grandes velocidades.

Al igual que sucede con los dispositivos optoelectrónicos, los PIN y APD pueden ser de homoestructura y de heteroestructura

Una estructura simple como la de un fotodiodo PIN suministra una sensibilidad de 1 A/W en la ventana de 1550 nm, está formado por tres capas InP una dopada con p, la segunda sin dopar (también llamada intrínscica) y la tercera dopada con n.

Los fotodiodos de avalancha (con una capa adicional tipo n) tienen una estructura más compleja con ganancia eléctrica interna, suministrada por el efecto avalancha en la región intrínscica de alto voltaje; se pueden alcanzar sensibilidades de 5 a 10 A/W con poca degradación del nivel de ruido.

Los fotodiodos PIN y APD son receptores de banda ancha que se usan para cubrir la segunda (1310nm) y tercera (1550nm) ventana de transmisión.

Los fotodiodos PIN tienen muchas ventajas como el bajo costo y la confiabilidad, pero los fotodiodos avalancha son más sensibles en la recepción y más exactos, usados para altas velocidades, sin embargo son más costosos y requieren de más corriente y son sensibles a la temperatura. Ver sensibilidad en la figura 4.7.

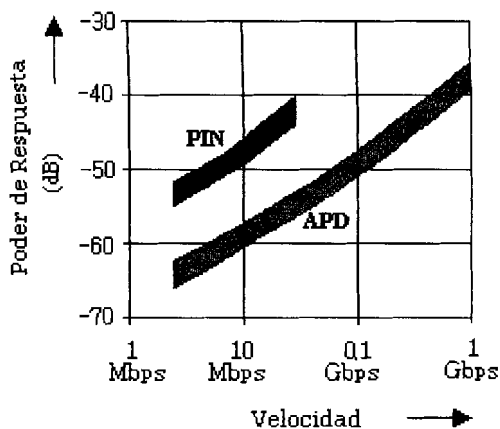


Figura 4.7 Sensibilidad de los fotodiodos PIN y APD

Los fotodetectores son caracterizados por ciertos parámetros, entre ellos:

- **Fotosensibilidad.**- Es la relación de la energía lumínica o potencia óptica recibida en el dispositivo y la corriente que se genera a la salida del fotodetector (A/W). Esta característica aumenta con la longitud de onda y varía con el material (La sensibilidad es proporcional a la longitud de onda).
- **Rango dinámico.**- Valores máximo y mínimo que maneja la sensibilidad de un fotodetector.

- ***El tiempo de respuesta.***- Está definido como el lapso de tiempo para que la señal de salida llegue de un 10 a un 90% de su amplitud (tiempo de elevación) y de un 90 a 10% (tiempo de caída).
- ***Ancho de banda.***- Está definido como el rango de frecuencias o longitudes de onda en el cual el fotodetector es sensible.
- ***Frecuencia de corte.***- Es la más alta frecuencia (longitud de onda) en la cual el fotodetector es sensible.

Además de los parámetros anteriores debemos tomar en cuenta otros como: alta sensibilidad, respuesta rápida, bajo ruido, alta seguridad.

Debido a la alta sensibilidad, poder de respuesta y velocidad brindada por los fotodiodos APD, son los usados en el diseño DWDM.

4.4 MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES ÓPTICOS

La principal función de un multiplexor óptico es acoplar dos o más longitudes de onda dentro de una misma fibra; el multiplexor consiste de múltiples entradas de fibra, cada una llevando una señal óptica de diferente longitud de onda hacia una sola fibra.

El demultiplexor hace lo contrario, separa múltiples longitudes de onda de una fibra y luego las conduce a muchas fibras.

4.5 MULTIPLEXOR ÓPTICO DE INSERCIÓN-EXTRACCIÓN (OADM)

Los primeros sistemas DWDM eran punto a punto pero luego hubo la necesidad de extraer y agregar canales en los nodos intermedios (sin conversión opto/eléctrica), esa es la función que realizan los OADMs en los sistemas DWDM (Fig. 4.8).

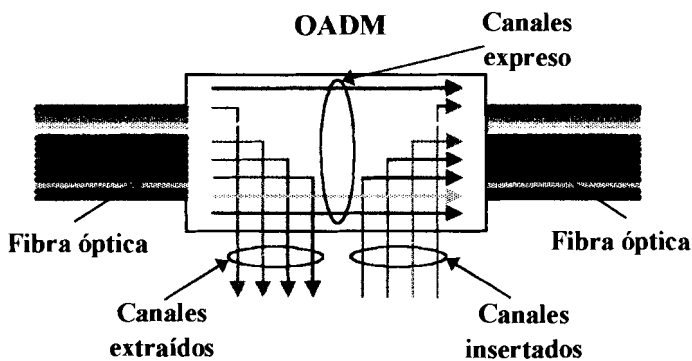


Figura 4.8 OADM de cuatro canales add/drop.

De las longitudes de ondas presentes en la fibra óptica, se selecciona una o algunas para transportar el tráfico de ese canal, luego en la misma dirección del flujo de datos éste inserta la misma longitud de onda extraída pero con diferente contenido de datos para que siga viajando sobre la fibra.

La tecnología desplegada en OADMs depende del número de longitudes de onda usadas en un sistema de transmisión DWDM, del número de longitudes de onda extraídas e insertadas, del nivel de la red (Acceso, Metro o Larga Distancia) y del costo.

Las variedades de OADMs nos permite la inserción/extracción de 4, 8 y hasta 16 canales o longitudes de onda de las que viajan a través de la fibra.

Estos módulos ópticos presentan varios juegos de longitudes de onda establecidos por el fabricante, de los cuales podemos escoger el que se ajuste al requerimiento de la aplicación deseada. Estas opciones de juegos vienen programados en memorias EEPROM.

El OADM es manejado mediante software, lo que significa que el operador del sistema de transmisión puede escoger uno de los juegos ya establecidos y a su vez puede remotamente decidir que longitudes de ondas deberán sólo pasar y cuales deberán ser extraídas en cada estación intermedia.

En nuestro diseño utilizaremos el add/drop que posee capacidad de extracción/inserción de 4 longitudes de onda.

4.6 FILTROS ÓPTICOS

Los filtros ópticos son dispositivos que poseen la capacidad de selección de longitudes de ondas, dejando pasar unas señales y bloqueando a otras, las mismas que están fuera de la banda de operación de este elemento.

4.6.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS

Los filtros son caracterizados por los siguientes parámetros:

- **Ancho espectral.**- Es la banda de frecuencias (longitudes de ondas) que pasan a través del filtro. El ancho espectral está caracterizado por una frecuencia superior y una frecuencia inferior.
- **Espaciamiento de línea.**- Es la distancia en unidades de longitud de onda (nanómetros) o en unidades de frecuencia (gigahertz) entre dos canales.
- **Calidad.**- Es una indicación de como muchos canales de longitudes de onda (o frecuencias) pueden simultáneamente pasar a través de los filtros sin severa interferencia entre ellos.

Las imperfecciones de los espejos y ángulo de incidencia del rayo de luz afectan el valor de la calidad del filtro.

4.6.2 TÉCNICAS DE FILTRADO ÓPTICO

Existen varias técnicas de filtrado óptico, de las cuales las más usadas son las siguientes:

- **Filtros dieléctricos.**- Están formados por capas en las cuales cada longitud de onda se filtra mediante una pila de capas diferentes. La organización de las capas permite al filtro trabajar a una longitud de onda específica.

-Rejillas de Difracción Bragg.- Es un arreglo de finas líneas paralelas o ranuras de reflexión, muy juntas entre sí dentro de una guía de onda (fibra óptica), colocados en ranuras en forma de V (figura 4.9), para dispersar la luz de acuerdo a su longitud de onda. El número de líneas paralelas y su espaciamiento determina la cantidad de canales en un sistema de transmisión.

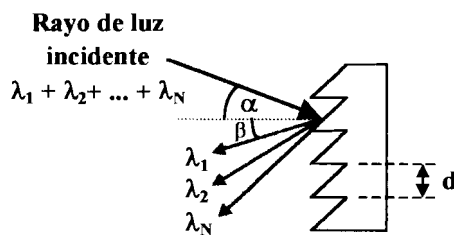


Figura 4.9 Rejilla de difracción.

4.6.3 APLICACIONES DEL FILTRO ÓPTICO

El filtro óptico tiene múltiples aplicaciones, tales como: bloqueo del láser a una longitud de onda exacta, selección de canal (para extracción / inserción óptica), filtrado del ruido en la parte receptora y aplanamiento de la ganancia del EDFA.

El filtro óptico es un elemento clave para la transmisión y el enrutamiento de señales DWDM.

4.6.4 TIPOS DE FILTROS ÓPTICOS

Los filtros ópticos se clasifican en fijos y en sintonizables.

4.6.4.1 FILTROS ÓPTICOS FIJOS

Como su propio nombre lo indica, es aquel que opera a una determinada longitud de onda. En este tipo de filtro se usa la técnica del filtro dieléctrico y es utilizado en los tradicionales sistemas de transmisión óptica.

4.6.4.2 FILTROS ÓPTICOS SINTONIZABLES

Este tipo de filtro provee mayor flexibilidad, debido a que opera en más de una longitud de onda, permitiendo al operador del sistema de transmisión escoger estos valores. Su diseño se basa en la técnica de la Rejilla de Difracción Bragg.

La principal característica de los TOFs es su capacidad de seleccionar el rango de longitudes de ondas filtradas, sin embargo para ser útiles en los sistemas de telecomunicaciones deben de cumplir los siguientes requerimientos:

- Ancho rango sintonizable (gran número de canales)
- Ganancia constante
- Angosto ancho de banda
- Sintonía rápida

- Insensibilidad a la temperatura (no cambios de frecuencia cuando varía la temperatura)

Dentro de estos filtros tenemos a los Acousto-Optic, Mach-Zehnder, Birefringence; cada tipo de filtro sintonizable tiene sus propias características de desempeño.

En la figura 4.10 se muestran filtros sintonizables con ancho de banda de 0.8 y 3 nm, con amplio rango ajustable en los alrededores de 1310 y 1550 nm.



Figura 4.10 Filtros sintonizables.

4.7 AMPLIFICADOR ÓPTICO

4.7.1 DEFINICIÓN

Al aumentar la capacidad de la red, enviando señales más rápidas se presentan problemas como la atenuación y el ensanchamiento o dispersión de las señales;

existe un componente capaz de evitar estos inconvenientes y es el amplificador óptico.

Los amplificadores ópticos (OAs) son dispositivos que reconstituyen la señal óptica atenuada y así es como consiguen incrementar la distancia efectiva de la fibra entre dos puntos: la fuente de datos y el destino.

Los amplificadores ópticos son dispositivos basados en los principios del láser. Ellos reciben una o más señales ópticas, cada una con una frecuencia central, y amplifican simultáneamente todas las longitudes de onda. Comparado con los regeneradores, el OA tiene una gran ventaja en los sistemas de fibra con múltiples longitudes de onda (DWDM), ya que un dispositivo reemplaza a muchos de ellos.

4.7.2 CARACTERÍSTICAS DEL AMPLIFICADOR ÓPTICO

Los amplificadores son caracterizados por: proporcionar ganancia, mantener el ancho de banda para la transmisión, máxima potencia de salida, rango dinámico, ruido y saturación de ganancia o potencia de salida.

Algunas de las características claves de los amplificadores ópticos son las siguientes:

- **Ganancia.**- Es la relación de la potencia de salida con la potencia de entrada (medida en dB).

- **Ancho de banda.**- Es el rango de frecuencias sobre el cual el amplificador es efectivo.

- **Saturación de ganancia o de potencia** es la máxima potencia de salida del amplificador, produciendo la máxima ganancia más allá de la cual ya no puede incrementarse a pesar de que se aumente la potencia de entrada.

- **Ruido** es una característica inherente del amplificador. En amplificadores ópticos el ruido es debido a la emisión espontánea de luz de los iones excitados.

Existen dos tipos de amplificadores ópticos, el amplificador semiconductor (SOA) y el amplificador de fibra dopada (EDFA porque es dopada con erbio y PDFA porque es dopada con praseodymium). Dependiendo de los dopantes más que de la fibra óptica, se determina la longitud de operación y el ancho de banda de trabajo.

4.7.3 AMPLIFICADOR SEMICONDUCTOR (SOA)

La principal ventaja de los SOAs es que están hechos con InGaAsP, por lo que son dispositivos de amplificación pequeños y compactos; tienen un gran ancho de banda de amplificación, y además pueden ser integrados con otros componentes ópticos. Sin embargo, los SOAs tienen altas pérdidas por inserción, baja potencia de salida, un alto nivel de cross-talk debido a los

fenómenos no lineales y un difícil acoplamiento con la fibra óptica (Fig. 4.11).

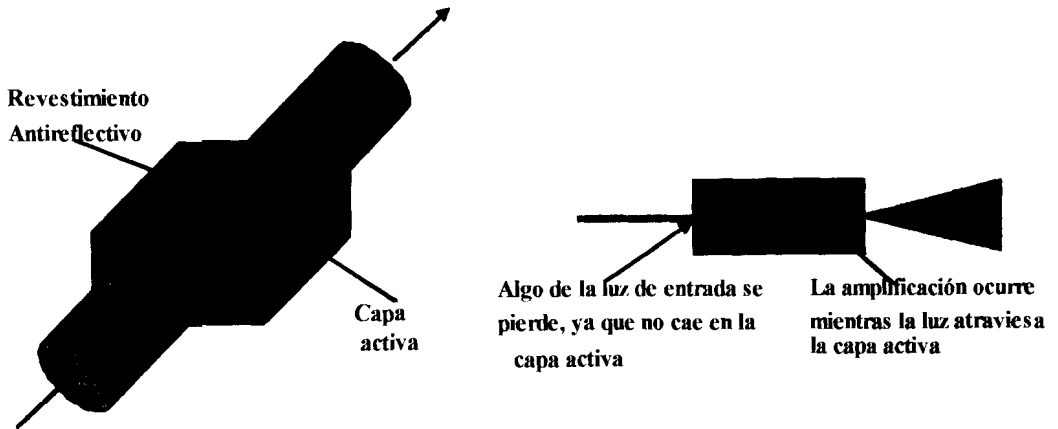


Figura 4.11 Funcionamiento de un SOA.

4.7.4 EDFAs

Hasta la llegada de los amplificadores de fibra dopada con Erblio, las señales eran regeneradas de manera opto-eléctrica, amplificándose la señal débil de forma electrónica. Estos regeneradores tienen dos desventajas: son muy costosos y limitan el desempeño del sistema por amplificar una sola longitud de onda por cada regenerador.

Con el surgimiento de los EDFAs se hace posible la transmisión a muy largas distancias empleando múltiples portadoras ópticas.

El EDFA (amplificador de fibra dopada de Erblio) permite transmitir a distancias considerablemente largas debido a las altas potencias que proporciona y fue el que facilitó la segunda mayor revolución hace unos pocos años, la multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Gracias a la capacidad de los EDFAs de amplificar varias longitudes de onda simultáneamente (rompiendo la barrera de los terabits/seg en los laboratorios y dándole un significado enorme al ancho de banda de la fibra óptica), se ha confirmado en DWDM como el componente fundamental para amplificar las señales ópticas a lo largo del enlace de transmisión de fibra; constituye un avance crucial en el contexto de la amplificación de señales ópticas por tratarse de un amplificador completamente óptico sin componentes eléctricos, además de ser la forma más económica y práctica de mejorar las redes.

Los amplificadores basados en el bombeo sobre fibra óptica dopada con Erblio (EDFAs) fueron introducidos en la red a finales de los años 80 siendo en los 90 un elemento de uso común.

4.7.4.1 CARACTERÍSTICAS DE UN EDFA

El EDFA consiste de 3 componentes principales: un láser de bombeo semiconductor, una longitud de fibra dopada (fibra monomodo convencional de silicio contaminado con Erblio) y un grado de concentración de dopado.

Cuando se usa un láser de bombeo para estimular al Erblio con una longitud de onda específica, éste genera fotones debido a la emisión estimulada, haciendo que el elemento actúe como un medio de aumento, amplificando la señal óptica entrante.

El EDFA es bombeado por diodos láser que emiten a 980 o a 1480 nm que pueden proporcionar varios valores de potencia de salida total llegando hasta un máximo de 250 mW. Este amplificador incorpora un ecualizador de filtro de ganancia para proporcionar una respuesta de ganancia plana.

Básicamente amplifican toda una ventana óptica y por consiguiente todos los canales (longitudes de onda) incluidos en esa ventana (típicamente desde 1525 nm hasta 1565 nm).

4.7.4.2 BANDAS DE OPERACIÓN DE UN EDFA

De acuerdo al uso de los componentes principales se puede extender la ventana de amplificación de la banda C a la banda L, cambiando el tipo de bombeo del láser o cambiando la longitud de fibra de Erblio o la concentración del dopado.

Mientras los EDFAs proporcionan una amplificación eficaz en las ventanas ópticas de las bandas C y L, la banda S está todavía inexplorada. Investigaciones recientes apuntan al advenimiento del amplificador basado en Talio para la banda S.

El amplificador está basado en EDFA de sílice con dos secciones: Una optimizada para canales convencionales de 1525 – 1561 nm (banda C) y la otra optimizada para canales de longitud de onda mayores que 1561 nm (banda L).

BANDA C EXTENDIDA.- Aumentar el ancho de banda de los EDFAs por encima de 35 nm implica un total aprovechamiento de las capacidades de la actual banda de amplificación, la banda C (1530 a 1570 nm), mediante la optimización de los filtros de ganancia plana.

BANDA C + L.- Al modificar algunos de los parámetros del EDFA, la banda de amplificación espectral puede llevarse a la banda L (1585 a 1610 nm). El resultado es un EDFA de doble banda (C+L) formado por un EDFA de banda C acoplado en paralelo con EDFA de banda L, doblando así la banda de amplificación óptica.

Los actuales EDFAs cubren una ventana de 35 nm (1525-1561nm) en la banda C. El diseño de amplificador más reciente tiene un ancho de

banda de 80 nm, es capaz de soportar 100 canales con un espaciamiento de 100 GHz. La próxima generación de amplificadores basada en fibra dopada modificada será capaz de proporcionar amplificación sobre un ancho de banda mayor de 80 nm y a la larga cubrirá toda la banda C + L.

4.7.4.3 RANGO DE FUNCIONAMIENTO DEL EDFA

Los amplificadores dopados de Erblio tienen un rango de funcionamiento limitado (ver Fig. 4.12) en cuanto a la longitud de onda de las señales que procesan.

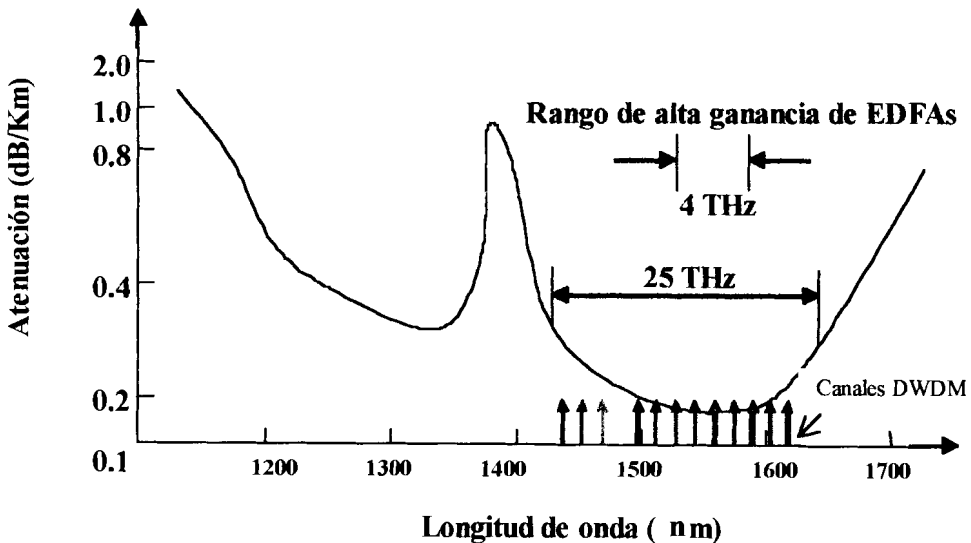


Figura 4.12 Curva Atenuación vs. Longitud de onda.

Como observamos en el gráfico, el rango de funcionamiento de los EDFAs es de la región de 1430 a 1640 nm (25 THz), obteniéndose un rango de alta ganancia entre los 1525 a 1590 nm. Como DWDM está dentro de éste rango, 1530-1560nm (4 THz), se asegura una alta potencia de los amplificadores y un bajo nivel de ruido.

La ganancia del amplificador debe ser capaz de compensar las pérdidas en cada tramo. Son valores típicos en la red de transporte 15 – 20 dB. El amplificador EDFA tiene una ganancia de 24 dB, suficiente para compensar las pérdidas ópticas causadas por los empalmes y por la propia fibra.

4.7.4.4 VENTAJAS DEL EDFA

Las principales ventajas del amplificador de fibra dopado con Erbion son:

- Insensibilidad a la polarización
- Ausencia de distorsión

La insensibilidad a la polarización de la señal incidente (la polarización caracteriza la dirección en la que vibra el campo eléctrico asociado a la onda luminosa) es una ventaja esencial ya que el estado

de polarización de las señales se modifica de forma aleatoria a medida que se propaga la luz por la fibra óptica.

La ausencia de distorsión significa que el amplificador no deforma las señales, las amplifica idénticas. Ejemplo, con una potencia de entrada demasiado elevada, disminuye la ganancia pero la señal no se distorsiona, a diferencia del caso de los amplificadores electrónicos.

Se añaden otras ventajas como: la compatibilidad con las fibras estándar, las escasas pérdidas en las conexiones, alta ganancia, alta linealidad, el ruido mínimo, la insensibilidad a la temperatura entre -40 °C y +60°C y los bajos costos asociados a los equipos tanto en lo relativo a la instalación como a la operación y mantenimiento.

4.7.4.5 DESVENTAJAS DEL EDFA

A la hora de poner muchos amplificadores hay que tener en cuenta la aparición de efectos que pueden distorsionar la señal. Estos efectos son:

- 1.- Ganancia no plana de los amplificadores.
- 2.- Ruido introducido por los amplificadores.

GANANCIA NO PLANA DE UN EDFA.- Los EDFAs no tienen una ganancia lo suficientemente plana a lo largo de un ancho de banda, lo que constituye un importante reto para los ingenieros de componentes.

Se amplifican diferentes longitudes de onda con diferentes ganancias mientras que el sistema requiere la misma amplificación para todas las longitudes de onda. Este problema se ha resuelto mediante el desarrollo de la fibra óptica dopada de Erblio con un alto contenido de aluminio y por la realización de nuevos filtros de ecualización que están incorporados en el amplificador, basados en tecnologías tales como la rejilla de Fibra de Bragg (FBG).

El filtro óptico llamado Fiber Bragg Grating (FBG) se comporta como un rechazador óptico a una determinada longitud de onda. Optimizando el perfil de atenuación de este FBG se puede obtener una respuesta espectral que es inversa a la del EDFA, lo que significa que se puede crear un EDFA de banda ancha introduciendo un FBG en un amplificador óptico.

En la figura 4.13 vemos la no planitud o no igualación de ganancia entre uno y otro canal.

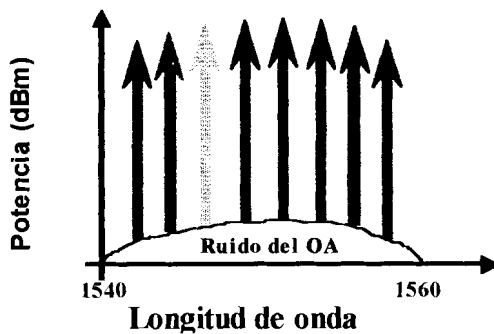


Figura 4.13 Ganancia No plana de los amplificadores

RUIDO.- Es una señal óptica no deseada (fotones), originada por la emisión espontánea que siempre se encuentra acompañando a la emisión estimulada.

La emisión estimulada nos sirve para lograr la amplificación de la señal incidente en un sistema de transmisión óptica.

4.7.4.6 CLASIFICACIÓN DE LOS AMPLIFICADORES DE FIBRA ÓPTICA (OFAs)

Existen tres tipos de OFAs:

Amplificador de Potencia: Es capaz de incrementar la potencia óptica de una señal fotónica modulada en la fuente. Este es colocado justo después de la etapa de multiplexado, a la salida del sistema transmisor. La limitación de estos amplificadores es por lo general la potencia total de salida. Entre estos se encuentran los boosters (OBAs).

Amplificador de Línea (OLA): Es caracterizado por una gran ganancia y bajo ruido, para amplificar una señal atenuada. Reciben una señal relativamente débil y deben amplificarla por el mayor número de dB posible. Las limitaciones de estos amplificadores son la ganancia, el ruido que introducen y potencia total de salida.

Preamplificador (OPA): Es caracterizado por un muy bajo ruido y una elevada ganancia para incrementar una señal altamente atenuada a niveles que puedan ser detectados de manera segura por el receptor óptico. Éste es colocado directamente antes del receptor. Una salida de -20 dBm por canal es normalmente una potencia de salida suficiente.

Estos amplificadores pueden utilizarse tanto inmediatamente después del emisor (amplificador de potencia), en puntos intermedios del enlace (amplificador de línea), o como pre-amplificador antes del receptor.

En la figura 4.14 se muestran los diferentes tipos de amplificadores.

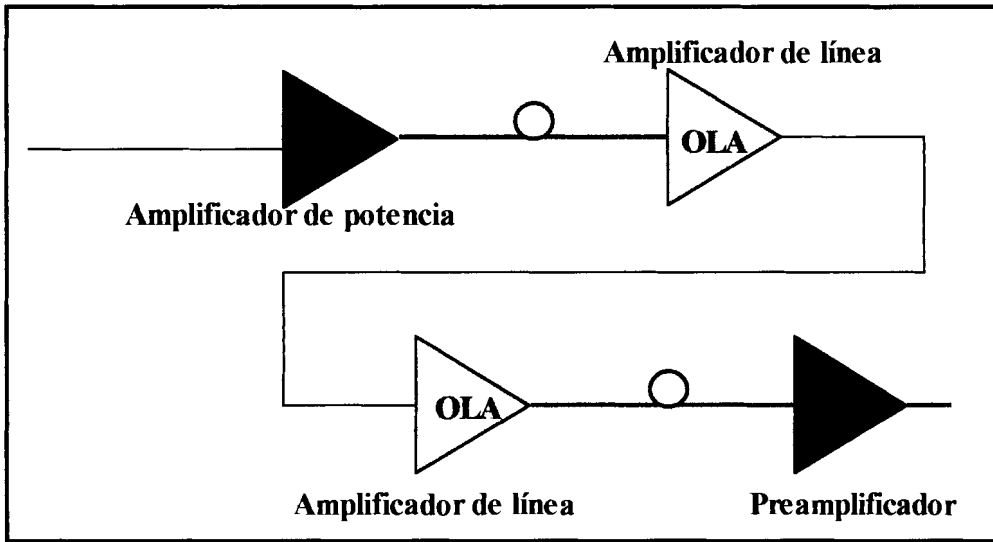


Figura 4.14 Sistema de amplificación.

4.8 CONVERTIDOR DE LONGITUD DE ONDA

El convertidor de longitud de onda en su entrada recibe una longitud de onda y la convierte en otra longitud de onda que la transmite a su salida. La principal función de éstos convertidores es tomar una señal ya estandarizada como: PDH, SDH, etc. y convertirla en un canal óptico correspondiente a la norma UIT-T G.692.

Un convertidor de longitud de onda ideal debería tener las siguientes características: Transparencia a la velocidad de bit y al formato de señal, rápido establecimiento de la longitud de onda de salida, permitir convertir λ pequeñas y grandes (de 1.300 nm a 1.600 nm).

4.9 OTROS COMPONENTES PARA DWDM

- *Switch óptico*.- Permite la interconexión de redes con baja pérdida de inserción

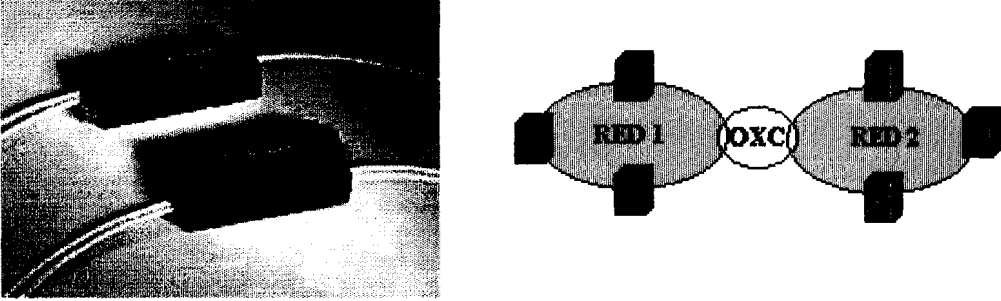


Figura 4.15 Switches en fibra óptica.

- *ODF* (Distribuidor de Fibra Óptica).- En cada extremo de un enlace de fibra óptica se encuentran los distribuidores, en donde se empalma cada fibra a un cable de una fibra conectorizado denominado pigtail. Estos están numerados y se conectan a uno de los extremos de un acoplador fijado al gabinete, a donde luego se conectarán los jumpers de los equipos de transmisión o de los medidores.

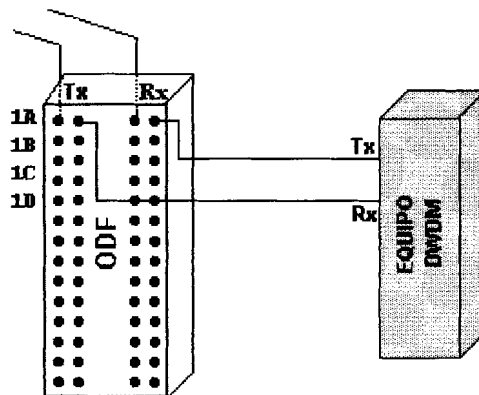


Figura 4.16 Distribuidor de fibra óptica.

- **Atenuador óptico.**- Permite unir dos conectores entre sí introduciendo una cierta cantidad de atenuación (3, 5, 10, 15 y 20 dB) para evitar los problemas derivados de un exceso de potencia en enlaces de corta distancia donde pueden los receptores llegar a saturarse. (Ver Fig. 4.17)

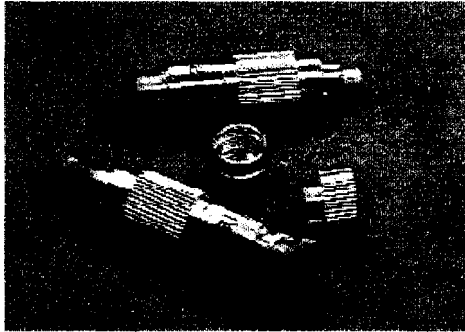


Figura 4.17 Atenuador de fibra óptica.

- **Adaptadores ópticos.**- Son dispositivos que reciben un conector de cada lado y sirven para realizar la conexión entre una red de fibra monomodo y otra multimodo y viceversa con la mínima pérdida posible. (Ver Fig. 4.18)

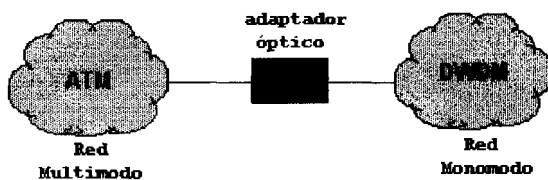
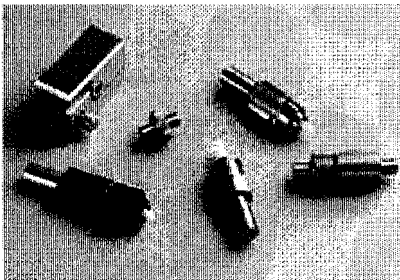


Figura 4.18 Adaptadores de fibra óptica.

- **Acopladores ópticos.**- Son dispositivos que transfieren la máxima potencia óptica posible de uno o más dispositivos a otros. (Ver Fig. 4.19)

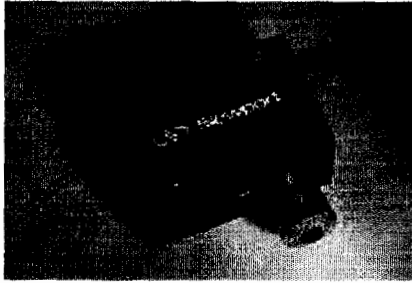


Figura 4.19 Acoplador de fibra óptica variables.

- **Aislador óptico.**- Es un dispositivo cuya función es permitir el paso de la luz en una sola dirección (unidireccional) atenuando a la vez las reflexiones. Tienen pérdida de inserción de 1 dB, y diferentes niveles de aislamiento entre 25 y 70 dB. Se utilizan en los amplificadores ópticos. (Ver Fig. 4.20).

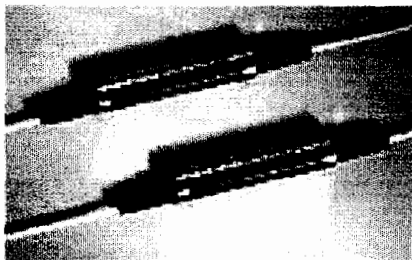


Figura 4.20 Aisladores de fibra óptica.

CAPITULO V

DISEÑO DE LA RED

5.1 SITUACIÓN ACTUAL

Nuestro proyecto es la conformación de la red troncal que tiene como nodos principales las ciudades de Guayaquil, Salinas, Manta, Quevedo, Santo Domingo y Quito en una topología bus, utilizando como medio de transmisión la fibra óptica con tecnología DWDM. De esta manera el sistema actual de comunicación que utiliza el mismo medio de transmisión con tecnología SDH, ingresará como subred a nuestra nueva red troncal DWDM.

En la ciudad de Salinas se conectará nuestra red a la del cable Panamericano, permitiendo ampliar el tráfico por dicha ruta internacional. La ciudad de Guayaquil podrá en un futuro conectarse con la red que viene de Quito por una ruta diferente, lo que nos permitirá tener una red DWDM con topología en anillo, por ende tendremos todas las ventajas que nos da este diseño. Igualmente en Guayaquil podremos conectarnos al anillo sur que recoge el tráfico de la fibra óptica terrestre que llega desde el Perú hasta Huaquillas.

En nuestra red convergen múltiples señales ópticas utilizando tecnología DWDM. El sistema de transmisión que vamos a emplear en nuestro diseño tiene una capacidad de transmisión de 80 Gbps, lo que significa que sobre un par de fibras ópticas el sistema bidireccional puede transportar hasta 32 señales o canales ópticos a una velocidad de 2.5 Gbps cada canal. Nuestro sistema además de ser utilizado como terminal, puede ser implementado como amplificador de línea y como OADM.

5.2 CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DWDM

Los criterios técnicos que debemos tomar en cuenta para el diseño de nuestra red DWDM son los siguientes:

- Determinación de la topología de la red.
- Características de protección.
- Selección de los equipos a instalarse.
- Sistema de administración.

5.2.1 DETERMINACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED

La configuración que vamos a utilizar es la topología tipo bus, la cual nos permite tener acceso a las señales tanto en los puntos terminales como en puntos intermedios a través de elementos configurados (OADM). Tenemos como puntos terminales las ciudades de Guayaquil y Quito, como puntos de inserción / extracción las ciudades de Salinas, Manta, Quevedo y Santo Domingo, y como puntos donde ubicaremos amplificadores ópticos de línea (OLAs) las ciudades de Puerto López, Delicias y San Miguel.

El equipamiento respectivo se muestra en la tabla XI.

Tabla XI Equipamiento requerido en la red troncal con tecnología DWDM

		Equipo OADM	Equipo Repetidor
	1		
Salinas		1	
Puerto López			1
Manta		1	
Las Delicias			1
Quevedo		1	
Santo Domingo		1	
San Miguel			1
	1		

La red física actual que conecta las ciudades de Guayaquil y Quito está implementada en la conocida ruta del sol, y ésta será la misma ruta de nuestro diseño, ya que el cable de 48 fibras de dicha ruta cumple con la recomendación G. 655 y es apto para DWDM, excepto el tramo Guayaquil – Salinas donde está instalada la fibra óptica que cumple con la recomendación G.652 de la UIT-T. (La cual comparada con la G.655 presenta limitaciones en distancias de transmisión superiores a 640 Km. debido al fenómeno de dispersión).

Además tenemos que tomar en cuenta que existirá otro cable de fibra óptica que se implementará en una ruta física diferente a la de nuestro diseño y que conectará Quito con Guayaquil, la que nos permitirá cambiar nuestra red a una topología en anillo (Ver Anexos B y C). Este tipo de topología en anillo nos beneficiará para la protección del tráfico de nuestra red.

Las centrales de cada una de estas ciudades recibirán el tráfico correspondiente establecido por nuestro diseño.

La adquisición de nuevos equipos de transmisión está relacionada a la relación capacidad/costo, si bien el costo inicial es alto por tratarse de una tecnología de punta, el crecimiento en la demanda de nuevos servicios y del tráfico existente conlleva un aumento en la capacidad, la que será dada por nuestra red DWDM utilizando el mismo par de fibras que la red actual.

5.2.2 CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN

La confiabilidad de la red está basada en los siguientes esquemas de protección:

- Protección de trayectoria (ruta/fibra).- Se protege a la señal contra cortes de fibra óptica, si esto ocurre el tráfico conmuta hacia la fibra de respaldo, es decir, tenemos una protección por conmutación de trayectoria (PPS). En el comienzo nuestro diseño no toma en cuenta este tipo de protección, ya que solamente existe una ruta de cable de fibra óptica entre Guayaquil y Quito.
- Protección de agregado.- A nivel de agregado nosotros podemos tener protección por conmutación automática (APS), es decir, en caso de que nos falle algún agregado de nuestro equipo independientemente de la dirección, éste debe cambiar el tráfico a su correspondiente agregado de protección.
- Protección de Canal.- Se tiene protección por conmutación de equipo (EPS) en caso de falla de alguna tarjeta. Por ejemplo cuando una señal del canal falla ésta es bloqueada y la señal del canal de protección entra en operación. Si todos los canales fallan (falla de fibra), entran en operación todos los canales que están en stand-by. Hay que tomar en cuenta que las protecciones de tarjetas son opcionales en nuestro equipo.

Además nuestro equipo tiene las funciones de ALS y APSD, que nos permiten no cortar todo el tráfico en secciones de multiplexación óptica (OMS), en caso de corte de fibra.

5.2.3 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS A INSTALARSE

De acuerdo a nuestros requerimientos nosotros hemos escogido el equipo terminal que tiene una capacidad máxima de 32 longitudes de onda a una velocidad de canal de 2.5 Gbps, OADMs con capacidad máxima de inserción/extracción de cuatro longitudes de onda y amplificadores de línea. La cantidad y capacidad de los equipos será determinada por los resultados de nuestros cálculos.

5.2.4 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN

La administración se realiza en los siguientes niveles:

- Local.- Mediante la interface F (PC local, interface RS-232, 9600 bps).
- Remota.- Por medio de la interface F, vía el protocolo LAPD, enviado a través del canal de supervisión (sección 5.10.3), por tal razón este tipo de administración me permite la comunicación entre los elementos de red vecinos, por ej: si se realiza un monitoreo desde la central de Quevedo se puede observar lo que ocurre entre esta central con Manta o entre esta central con Sto. Domingo.

- Supervisión a nivel Q (centralizada).- Se realiza por el equipo de gestión de red, mediante la interface Ethernet.

En la figura 5.1 se muestra la ubicación de los equipos para la gestión de la red así como las diferentes secciones empleadas en una red óptica.

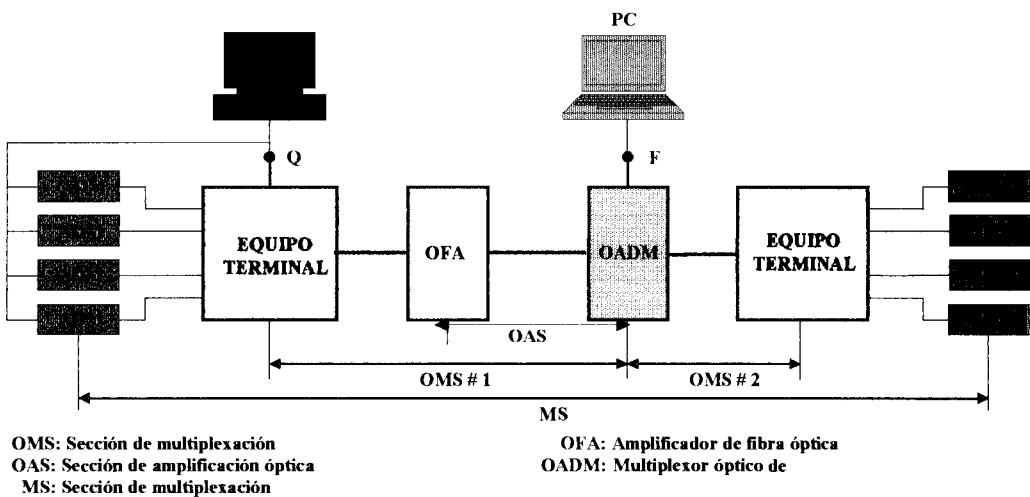


Figura 5.1 Administración de la red

5.3 MATRIZ DE TRÁFICO ENTRE LOS NODOS

Para calcular el tráfico expresado en EIs que necesitaremos en nuestra red DWDM hemos considerado el tráfico actual de la red SDH que comunica las ciudades de

Guayaquil y Quito, el cual se muestra en la tabla XII. Esta tabla será la base para calcular el nuevo tráfico entre los nodos de nuestro diseño. Además cabe señalar que los valores de esta tabla representan la capacidad instalada pero no la utilizada. En el caso de Guayaquil - Manta de los 126 EIs instalados están en uso 94, para Guayaquil – Santo Domingo de los 63 EIs se usan 30 y para Guayaquil – Quito de los 189 EIs están en uso 157.

Tabla XII Matriz de tráfico en EIs de las centrales que aportan tráfico a la ruta SDH Guayaquil-Quito

	Guayaquil	Salinas	Manta	Quevedo	Santo Domingo	Quito
Guayaquil		126	126	63	63	189
Salinas	126					
Manta	126					63
Quevedo	63					
Santo Domingo	63					
Quito	189		63			

5.4 PROYECCIÓN DE LA MATRIZ DE TRÁFICO A 10 AÑOS

El crecimiento del número de habitantes de las diferentes ciudades del país es un factor importante para el incremento del tráfico telefónico, pero éste no es el único factor a tomar en cuenta, nosotros hemos hecho este diseño considerando las necesidades de nuevos servicios no solamente a nivel nacional sino internacional y la evolución a una red RDSI.

El incremento del tráfico que se manejará en Salinas tiene que ver con la necesidad de ampliar el tráfico internacional, no solamente para la central tránsito de Guayaquil sino para futuras centrales tránsito del resto del país, así como para nuevos servicios de datos y comunicaciones.

El incremento del tráfico en Manta viene dado porque se la piensa convertir en una central tránsito, ya que como es conocido en esta ciudad queda ubicada la Base norteamericana y además Manta es uno de los principales puertos productivos del país.

El crecimiento del tráfico en las ciudades de Guayaquil y Quito viene dado por la liberación de las telecomunicaciones y por la implementación de nuevas tecnologías y redes en estas ciudades. Nosotros podremos alquilar canales de datos directamente con el cliente, señales no solamente a 2 Mbps sino hasta señales STM-16 (2.5 Gbps). Además podremos alquilar parte de nuestra capacidad de transporte para sistemas de TV por cable.

Además debemos considerar el tráfico proveniente tanto del anillo sur como del anillo norte que llega a las centrales de Guayaquil y Quito respectivamente; nuestra red lo tomará como tráfico de Guayaquil y Quito.

Frente a todos los puntos mencionados se estima que el tráfico en diez años representará el 100% del tráfico actual, razón por la cual la matriz de tráfico de la red DWDM que estamos diseñando quedará establecida como muestra la tabla XIII, en la cual podemos apreciar que los valores de E1s han duplicado en cada caso.

Tabla XIII Matriz de tráfico en Els de las centrales que aportan tráfico a la ruta DWDM Guayaquil-Quito

	Guayaquil	Salinas	Manta	Quevedo	Santo Domingo	Quito
Guayaquil		252	189	126	63	315
Salinas	252					
Manta	189					126
Quevedo	126					
Santo Domingo	63					
Quito	315		126			

Como en nuestro equipo los tributarios son longitudes de onda, se escogió un tributario (λ_1) para que lleve todo el tráfico destinado a la comunicación Guayaquil-Quito, otro tributario (λ_2) para que lleve el tráfico Guayaquil-Salinas y un último tributario (λ_3) para que lleve el tráfico de las demás ciudades; la configuración de los tributarios de nuestra red se muestra en la tabla XIV.

Cabe indicar que los tributarios λ_2 y λ_3 hacen inserción/extracción en los nodos establecidos, donde se debe bajar o subir tráfico según el diseño de nuestra red DWDM.

El tributario λ_1 pasa a través de todos los nodos sin realizar inserción/extracción.

Tabla XIV Matriz de λ s que aportan tráfico a la ruta DWDM Guayaquil-Quito.

	Guayaquil	Salinas	Manta	Quevedo	Santo Domingo	Quito
Guayaquil		λ_2	λ_3	λ_3	λ_3	λ_1
Salinas	λ_2					
Manta	λ_3					λ_3
Quevedo	λ_3					
Santo Domingo	λ_3					
Quito	λ_1		λ_3			

5.5 DETALLES DE LA RUTA Y RECORRIDO DE LA FIBRA ÓPTICA

El recorrido de la fibra óptica se inicia en la Sala de Múltiplex ubicada en las calles Chile 407 entre Aguirre y Clemente Ballén, pasando por las diferentes ciudades como muestra la tabla XV, hasta llegar a la Central Tránsito de la ciudad de Quito. Cabe indicar que el cable de fibra óptica que tiene la otra ruta llegará también a la Sala de Múltiplex en la ciudad de Guayaquil.

Tabla XV Detalle y recorrido de la fibra óptica entre las diferentes ciudades

POBLACIÓN ORIGEN	POBLACIÓN FINAL	DISTANCIA EN KILÓMETROS	CABLE DE FIBRA ÓPTICA (Km)		
			Canalizado	Aéreo	Enterrado
Guayaquil	Chongón	31,84	31,84		
Chongón	Cerecita	28,33		2,00	26,33
Cerecita	Progreso	13,98		4,00	9,98
Progreso	Zapotal	38,36		1,80	36,56
Zapotal	Santa Elena	24,80			24,80
Santa Elena	Salinas	12,69	12,69		
Salinas	Punta Blanca	21,60			21,60
Punta Blanca	Manglaralto	40,60			40,60
Manglaralto	Puerto López	46,40			46,40
Puerto López	Puerto Cayo	31,80			31,80
Puerto Cayo	La Fortuna	6,10	1,10		5,00
La Fortuna	Joa	14,80			14,80
Joa	Jipijapa	9,90	4,40		5,50
Jipijapa	Sancan	11,20			11,20
Sancan	La Pila	18,90			18,90
La Pila	Montecristi	10,50			10,50
Montecristi	Manta	13,40			13,40
Manta	Jaramijó	11,50			11,50
Jaramijó	Los Pozos	6,35			6,35

POBLACIÓN ORIGEN	POBLACIÓN FINAL	DISTANCIA EN KILÓMETROS	CABLE DE FIBRA ÓPTICA (Km)		
			Canalizado	Aéreo	Enterrado
Los Pozos	Picoazá	15.75			15.75
Picoazá	Portoviejo	6.50			6.50
Portoviejo	El Rodeo	7.70			7.70
El Rodeo	Calderón	6.90	2.20		4.70
Calderón	Alhajuela	7.90		1.20	6.70
Alhajuela	San Plácido	5.60		2.10	3.50
San Plácido	Colorado	17.40			17.40
Colorado	San Miguel	3.50			3.50
San Miguel	Las Delicias	3.40			3.40
Las Delicias	Progreso	10.50			10.50
Progreso	San Sebastián	1.70		0.50	1.20
San Sebastián	La Azucena	6.40		0.20	6.20
La Azucena	San Juan	9.70		0.30	9.40
San Juan	Pichincha	15.80		3.10	12.70
Pichincha	El Congo	16.20			16.20
El Congo	El Empalme	9.10	3.30		5.80
El Empalme	Quevedo	26.20	7,00		19.20
Quevedo	Buena Fe	14.50	3.5		11,00
Buena Fe	Fumisa	18.20		1,00	17.2
Fumisa	Patricia Pilar	22.10		1.20	20.9
Patricia Pilar	Luz América	21.30		0.90	20.4
Luz América	Santo Domingo	25,70	9,90		15.80
Santo Domingo	Desvio a Quito	37,70			37,70

POBLACIÓN ORIGEN	POBLACIÓN FINAL	DISTANCIA EN KILÓMETROS	CABLE DE FIBRA ÓPTICA (Km)		
			Canalizado	Aéreo	Enterrado
Desvío a Quito	La Abundancia	21,60		0,50	21,10
La Abundancia	Pto. Quito	12,40		1,70	10,70
Pto. Quito	P.V. Maldonado	26,70		2,60	24,10
P.V. Maldonado	San Miguel	21,20		2,20	19,00
San Miguel	Pueblo Nuevo	13,10		0,60	12,50
Pueblo Nuevo	San Tadeo	4,60		0,30	4,30
San Tadeo	Zegal	18,30		0,30	18,00
Zegal	Nanegalito	3,20		0,60	2,60
Nanegalito	Calacali	35,90		2,10	33,80
Calacali	Mitad del Mundo	8,30			8,30
Mitad del Mundo	Pomasqui	5,30	5,30		
Pomasqui	Peaje	6,70	6,70		
Peaje	Quito	15,50	15,50		
TOTAL		895,60	103,43	29,20	762,97

5.5.1 FIBRA UTILIZADA EN EL TRAYECTO

Para nuestro diseño hemos escogido tres tipos de cables dependiendo del tendido empleado, el detalle y recorrido del cable utilizado por tramo se muestra en la tabla XV.

5.5.1.1 DETALLE DE LA FIBRA ÓPTICA

Se utilizará la fibra óptica que cumpla con la recomendación G.655 de la UIT-T “Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión no cero” (NZ-DSF).

La fibra óptica utilizada es una fibra de tecnología avanzada, que ofrece el mayor potencial de ancho de banda, mayor alcance óptico y un aumento general en relación al costo. Debido a su mayor área efectiva, esta fibra permite transmitir mayor potencia, al mismo tiempo que se mantienen al mínimo los efectos no lineales que pueden degradar el rendimiento general del sistema DWDM.

Esta fibra permite mayor espaciamiento entre amplificadores ópticos y una máxima densidad de multiplexación por división de longitud de onda.

5.5.1.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA

Las características técnicas del cable de fibra óptica se muestran a continuación:

- Diseño: Tubo holgado
- Número de fibras: 48



- Número de tubos: Máximo 6
- Número de fibras por tubo: Máximo 12
- Miembro central: Material dieléctrico
- Doble armadura y triple chaqueta para cable enterrado.
- Armadura simple y una chaqueta para cable canalizado.
- Autosoportado (armadura de acero) para tendido aéreo.

Las características técnicas de la fibra óptica se muestran a continuación:

- Atenuación máxima: 0.25 dB/Km a 1550 nm
0.25 dB/Km a 1625 nm
- Diámetro del revestimiento: $245 \pm 5 \mu\text{m}$
- Diámetro del campo modal: 9.20 a 10.00 μm a 1550 nm
- Diámetro del recubrimiento: $125.0 \pm 1.0 \mu\text{m}$
- Dispersión total:

Intervalo de 1530 a 1565 nm	2.0 a 6.0 ps/(nm.Km)
Intervalo de 1565 a 1625 nm	4.5 a 11.2 ps/(nm.Km)
- Dispersión de modo de polarización: Menor a 0.08 ps/Km
- Temperatura de operación: - 40° a +70°C (-40° a +158°F)
- Área efectiva: $72 \mu\text{m}^2$

El material de relleno del cable de fibra óptica no es tóxico y no existe ningún riesgo para el personal técnico que lo manipula. El compuesto cumple con las normas internacionales de fabricación.

Las fibras ópticas deberán ser identificadas por el color del protector, según las normas internacionales.

Además todos los cables incluirán en el exterior de la cubierta una inscripción que indique:

- Nombre del fabricante
- Nombre del cliente (PACIFICTEL S.A.)
- Longitud

La inscripción se hará con tinta indeleble blanca o amarilla y viene estampada, sin afectar las características mecánicas de la cubierta. La identificación se repetirá cada 1.5 metros.

5.5.1.3 CABLE ENTERRADO

El cable enterrado es aconsejable en rutas de largo trayecto y donde no existe canalización, se lo entierra con maquinaria especializada aproximadamente de 50 a 100 cm. Dependiendo de la dureza del terreno. En la figura 5.2 se muestra el cable de fibra óptica utilizado en el tendido enterrado.

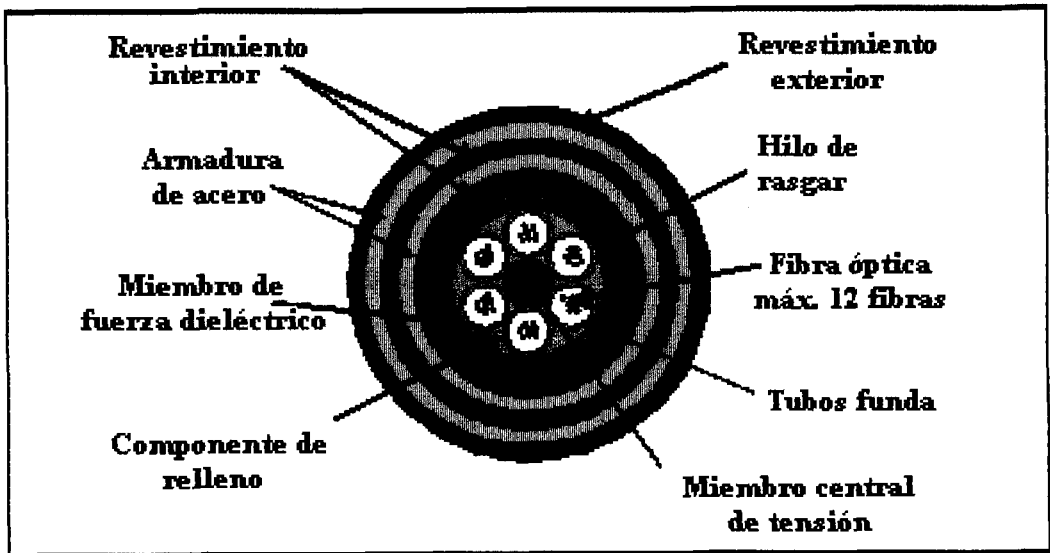


Figura 5.2 Vista frontal de un cable de fibra óptica para tendido enterrado

La instalación se realiza con un arado que posee un alimentador en forma de tubo por el cual se desliza el cable y queda colocado en la base del arado. Debe cuidarse la curvatura y la fuerza de tracción sobre el cable.

Existirá una cinta de advertencia, que se instalará a unos 0.50 metros por encima del cable, debe ser resistente a la acción de la humedad y de hidrocarburos, y tener las correspondientes inscripciones de advertencia.

El cruce de puentes se realizará mediante la instalación de conductos galvanizados adheridos al costado o debajo del mismo, tomando en cuenta la seguridad, acceso y protección.

La puesta a tierra debe colocarse a intervalos regulares de la cubierta de acero y del elemento central si es metálico para impedir que exista diferencia de potencial entre ambos y se perfora el dieléctrico ante la caída de un rayo.

Además de la naturaleza del terreno hay que tomar en cuenta otros factores como: carreteras, zonas muy transitadas, futuras ampliaciones de carreteras, áreas de cultivo, drenaje o instalación de otros servicios.

Este cableado se uso donde encontramos senderos sin pavimento o asfalto y que no poseían ducteria.

5.5.1.4 CABLE AÉREO

El tipo de cable aéreo es autoportado, necesita la instalación de nuevos postes, diferentes a los ya existentes, requiere de una menor protección que los enterrados y canalizados. Los postes deben estar arriostrados para minimizar el movimiento del cable y evitar desplazamientos.

Poseen un suspensor o mensajero para el tendido aéreo entre postes o columnas. En la figura 5.3 se muestra un cable de fibra óptica con elemento de tracción, el cual es especial para tendido aéreo.

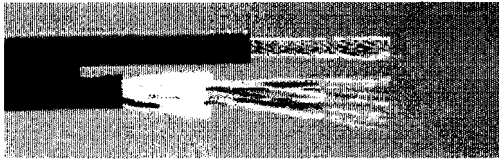


Figura 5.3 Cable de fibra óptica aéreo

Se deben tener presente ciertas medidas de seguridad tales como: No desconectar las líneas de potencia, no instalar en ambientes húmedos, llevar los cables siempre a tierra y guardar una distancia prudencial con respecto a los cables de alta tensión.

Este tipo de cable debe soportar los cambios ambientales y la instalación. Se recomienda no superar las tensiones de instalación (tomando en consideración el peso del cable).

Denominaciones de parámetros: Distancia entre postes (SPAN) , altura (de acuerdo al perfil topográfico) y máximos vientos (SAG). Se recomienda dejar por lo menos seis metros de cable cada tres postes.

Se instalan en poblaciones donde el riesgo de corte del cable de fibra óptica aumenta o donde la instalación enterrada o canalizada es muy difícil.

En el diseño se ha empleado este tipo de cableado en las siguientes situaciones:

- Falta de espacio, es decir las viviendas han sido construidas hasta el margen de la carretera como por ejemplo: Progreso, Cerecita, Zapotal, La Azucena, Pueblo Nuevo, entre otros.
- Dureza del terreno, en cuyos casos existe carreteras de cemento o asfalto y a carencia de ducteria se optó por utilizar los postes ya instalados por la empresa eléctrica.

5.5.1.5 CABLE CANALIZADO

El cable que utilizaremos canalizado está diseñado con cubiertas especiales, las que lo protegen de inundaciones y roedores, se encuentra dentro de un tubo de polietileno conjuntamente con un componente que sirve para evitar la entrada de agua al cable. Contiene una armadura de acero inoxidable que cubre el tubo de polietileno y un cordón de corte que sirve para remover la chaqueta fácilmente cuando se necesite hacer un empalme.

Tanto los conductos como los subconductos tienen un radio de curvatura mínimo que lo especifica el fabricante. En los conductos se utilizan las cintas de tracción preinstalada por el fabricante. Las cintas de tracción sirven para tirar del cable o del conducto interior dentro del conducto enterrado.

La instalación de este cable es fácil y eficiente debido al tamaño y peso del cable. Se pueden utilizar lubricantes que disminuyen el rozamiento entre el cable y el conducto en el momento de la instalación. La tensión del cable no debe exceder el peso del cable multiplicado por un factor que está entre 0.4 y 0.7. En la figura 5.4 se muestra un cable de fibra óptica para tendido canalizado.

Este tipo de cableado ha sido usado en sectores donde existen puentes y donde hay ducterías ya implementadas por Pacifictel S. A. tal es el caso de Guayaquil - Chongón, Santa Elena – Salinas.

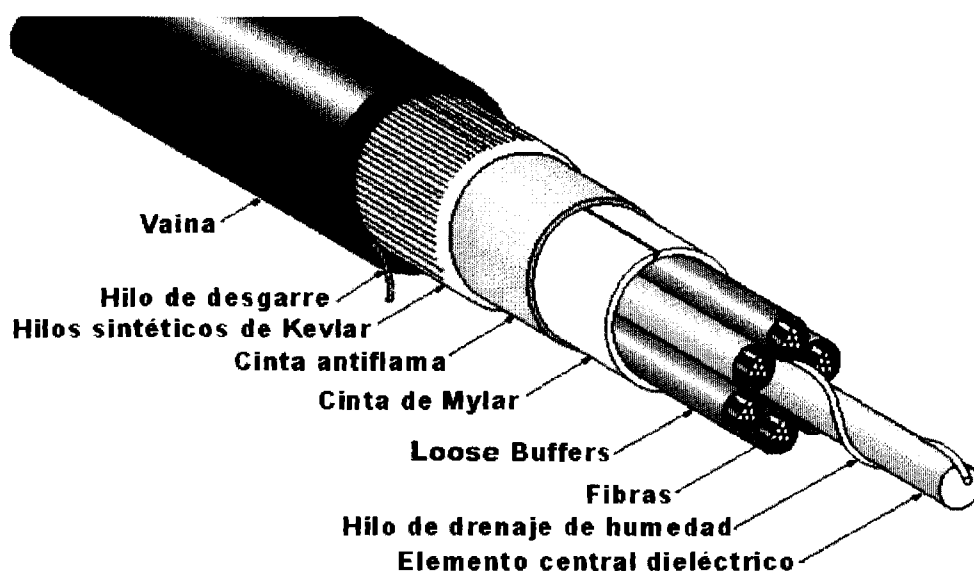


Figura 5.4 Cable de fibra óptica para canalizado

5.6 CÁLCULO DE ATENUACIÓN Y DISPERSIÓN

Conociendo que los principales problemas en la transmisión de nuestro enlace Guayaquil-Quito con tecnología DWDM son la atenuación y dispersión, tenemos que hacer los cálculos correspondientes para elegir la adecuada potencia de transmisión de nuestros equipos (Terminales, OADMs y repetidores de línea) considerando los umbrales de recepción de los equipos y las características de la fibra óptica elegida. Además debemos de establecer cuando y donde necesitaremos colocar algún repetidor óptico.

La fibra óptica elegida es la que cumple con la recomendación de la IUT-T G.655, ya que ésta es la más apta para ser utilizada en nuestro diseño.

La atenuación de una sección elemental del cable de fibra óptica según la norma G.655 de la IUT-T viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n L_n + \alpha_s X + \alpha_c Y$$

Donde:

α_n = Coeficiente de atenuación de la n-ésima fibra en la sección elemental de cable.

L_n = Longitud de la n-ésima fibra.

m = Número de fibras concatenadas en la sección elemental de cable.

α_s = Pérdida media en el empalme.

X = Número de empalmes en la sección elemental de cable.

α_c = Pérdida media de los conectores.

Y = Número de conectores en la sección elemental del cable.

En nuestro diseño los coeficientes de atenuación fueron dados por el fabricante, y quedaron establecidos de la siguiente manera:

$$\alpha_n = 0.25 \text{ dB/Km.}$$

$$\alpha_s = 0.03 \text{ dB/Km.}$$

$$\alpha_c = 0.5 \text{ dB/Km.}$$

El número total de empalmes por tramo se calculó tomando en cuenta que las bobinas del cable de fibra óptica tienen una longitud de 3 Km.

Escogimos un margen de reserva del 3% de la longitud del cable de fibra óptica, este valor fue incluido en los cálculos de atenuación total de todos los tramos de la red. Este margen de reserva es el cable que queda enrollado para futuros empalmes en caso de cortes de fibra o para futuras modificaciones. También se tomó en cuenta las pérdidas de los diferentes ODFs instalados por cada tramo, los cuales se muestran en la tabla.

Además escogimos un margen de fibra de 2 dBm, el cual representa problemas que se pueden presentar en nuestra fibra, como variación del coeficiente de atenuación dado por el fabricante, efectos de envejecimiento, curvaturas, etc.

Dependiendo de la potencia de transmisión y umbral de recepción de los equipos que se instalarán en los extremos de cada tramo se realizarán los cálculos de potencia y conjuntamente con la atenuación total calculada se determinará el margen de protección del enlace por tramo. El valor de la señal óptica por tramo, expresado en dBm, que llega al receptor está dada por:

$$\textit{Señal recibida} = \textit{Potencia de transmisión} - \textit{Atenuación total}$$

Para calcular el margen de protección de cada enlace añadimos el margen de seguridad de la fibra a la señal recibida y nos queda la siguiente expresión:

$$\textit{Margen de protección} = \textit{Umbral de recepción} - \textit{señal recibida} - \textit{margen de la fibra}$$

Para el cálculo de la dispersión cromática se escogió como coeficiente de dispersión el valor dado por el fabricante. Este valor es 6.0 ps/nm.Km y el valor de dispersión máximo tolerable por el equipo es 12800 ps/nm. (Ver sección 5.19)

Todos los cálculos y resultados de atenuación, señal recibida, márgenes de protección y dispersión se presentan a continuación:

ENLACE GUAYAQUIL – SALINAS

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	150		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0.25	150	37,50
Atenuación por empalmes [dB]	0.03	49	1,47
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	3	0,09
Margen de reserva del 3%	0.25	4,5	1,13
		Atenuación total del tramo [dB]	41,19

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20,00		
Umbral de recepción [dBm]	-26,10		
Margen de la fibra [dBm]	2,00		
Señal recibida [dBm]	-21,19		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-23,19		
Margen del enlace	2,91		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	20,00	150	3000
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE SALINAS-GUAYAQUIL

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	150		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0.25	150	37,50
Atenuación x empalmes [dB]	0.03	49	1,47
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	3	0,09
Margen de reserva del 3%	0.25	4,5	1,13
			Atenuación total del tramo [dB]
			41,19

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20,00	
Umbral de recepción [dBm]	-26,10	
Margen de la fibra [dBm]	2,00	
Señal recibida [dBm]	-21,19	Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-23,19	
Margen del enlace	2,91	Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	20,00	150	3000
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE SALINAS-PTO. LÓPEZ

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	108.6		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	108,6	27,15
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	36	1,08
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	13	0,39
Margen de reserva del 3%	0.25	3,26	0,82
		Atenuación total del tramo [dB]	30,44

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20,00		
Umbral de recepción [dBm]	-16,00		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-10,44		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-12,44		
Margen del enlace	3,56		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	108,6	651,60
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE PTO. LÓPEZ - SALINAS

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	108.6		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	108,6	27,15
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	36	1,08
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	13	0,39
Margen de reserva del 3%	0.25	3,26	0,82
		Atenuación total del tramo [dB]	30,44

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00		
Umbral de recepción [dBm]	-26.1		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-15,44		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-17,44		
Margen del enlace	8,66		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	108,6	651,60
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE PTO. LÓPEZ - MANTA

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	116.6		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	116,6	29,15
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	38	1,14
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	5	0,15
Margen de reserva del 3%	0.25	3,5	0,88
	Atenuación total del tramo [dB]		32,32

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00	
Umbral de recepción [dBm]	-26.1	
Margen de la fibra [dBm]	2	
Señal recibida [dBm]	-17,32	Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-19,32	
Margen del enlace	6,78	Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	116,6	524,70
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE MANTA - PTO. LÓPEZ

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	116.6		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	116,6	29,15
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	38	1,14
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	5	0,15
Margen de reserva del 3%	0.25	3,5	0,88
		Atenuación total del tramo [dB]	32,32

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20		
Umbral de recepción [dBm]	-16,00		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-12,32		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-14,32		
Margen del enlace	1,68		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	116,6	524,70
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE MANTA - DELICIAS

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	92.5		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	92,5	23,13
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	30	0,90
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	4	0,12
Margen de reserva del 3%	0.25	2,8	0,70
		Atenuación total del tramo [dB]	25,85

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20		
Umbral de recepción [dBm]	-16,00		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-5,85		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-7,85		
Margen del enlace	8,15		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	92,5	555,00
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE DELICIAS - MANTA

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	92.5		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	92,5	23,13
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	30	0,90
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	4	0,12
Margen de reserva del 3%	0.25	2,8	0,70
		Atenuación total del tramo [dB]	25,85

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00		
Umbral de recepción [dBm]	-26.1		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-10,85		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-12,85		
Margen del enlace	13,25		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	92,5	555,00
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE DELICIAS - QUEVEDO

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	95.6		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	95,6	23,90
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	31	0,93
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	4	0,12
Margen de reserva del 3%	0.25	2,87	0,72
	Atenuación total del tramo [dB]		26,67

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00	
Umbral de recepción [dBm]	-26.1	
Margen de la fibra [dBm]	2	
Señal recibida [dBm]	-11,67	Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-13,67	
Margen del enlace	12,43	Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	95,6	573,60
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE QUEVEDO - DELICIAS

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	95.6		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	95,6	23,90
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	31	0,93
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	4	0,12
Margen de reserva del 3%	0.25	2,87	0,72
		Atenuación total del tramo [dB]	27,61

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20		
Umbral de recepción [dBm]	-16,00		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-6,67		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-8,67		
Margen del enlace			Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra
	7,33		

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	95,6	573,60
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE QUEVEDO - STO. DOMINGO

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	101,80		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	101,8	25,45
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	33	0,99
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0,03	4	0,12
Margen de reserva del 3%	0,25	3	0,75
			Atenuación total del tramo [dB]
			29,25

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00	
Umbral de recepción [dBm]	-26,10	
Margen de la fibra [dBm]	2	
Señal recibida [dBm]	-13,31	Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-15,31	
Margen del enlace	10,79	Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN


	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	101,8	610,80
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE STO. DOMINGO - QUEVEDO

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	101,80		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	101,8	25,45
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	33	0,99
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0,03	4	0,12
Margen de reserva del 3%	0,25	3	0,75
		Atenuación total del tramo [dB]	28,31

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00		
Umbral de recepción [dBm]	-26,10		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-13,31	 <p style="margin: 0;">ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CIB - ESPOL</p>	Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-15,31		
Margen del enlace	10,79		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	101,8	610,80
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE STO. DOMINGO - SAN MIGUEL

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	119,60		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	119,6	29,90
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	39	1,17
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0.03	2	0,06
Margen de reserva del 3%	0.25	3,6	0,90
	Atenuación total del tramo [dB]		33,03

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20,00		
Umbral de recepción [dBm]	-16,00		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-13,03	Pot Tx - Aten total	
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-15.03		
Margen del enlace	0,97	Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra	

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	119,6	717,60
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE SAN MIGUEL - STO. DOMINGO

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	119,60		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	119,6	29,90
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	39	1,17
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0,03	2	0,06
Margen de reserva del 3%	0,25	3,6	0,90
		Atenuación total del tramo [dB]	33,03

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00		
Umbral de recepción [dBm]	-26,10		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-18,03		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-20,03		
Margen del enlace	6,07		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	119,6	717,60
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE SAN MIGUEL - QUITO

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	110,90		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	110,9	27,73
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	36	1,08
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0,03	2	0,06
Margen de reserva del 3%	0,25	3,3	0,83
		Atenuación total del tramo [dB]	30,70

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	15,00	
Umbral de recepción [dBm]	-26,10	
Margen de la fibra [dBm]	2	
Señal recibida [dBm]	-15,70	Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-17,70	
Margen del enlace	8,40	Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	110,9	665,40
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

ENLACE QUITO-SAN MIGUEL

DATOS DEL ENLACE Y EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Longitud del enlace [Km]	110,90		
	Unitario	Cantidad	Total
Atenuación [dB / Km]	0,25	110,9	27,73
Atenuación por empalmes [dB]	0,03	36	1,08
Atenuación por conector [dB]	0,50	2	1,00
Atenuación por ODF [dB]	0,03	2	0,06
Margen de reserva del 3%	0,25	3,3	0,83
		Atenuación total del tramo [dB]	30,70

ANÁLISIS DE ATENUACIÓN

Potencia de transmisión [dBm]	20,00		
Umbral de recepción [dBm]	-16,00		
Margen de la fibra [dBm]	2		
Señal recibida [dBm]	-10,70		Pot Tx - Aten total
Señal recibida - margen de la fibra [dBm]	-12,70		
Margen del enlace	3,30		Umbral Rx - Señal Rx con margen de la fibra

ANÁLISIS DE DISPERSIÓN

	Unitario	Cantidad	Total
Dispersión fibra [ps/km.nm]	6,00	110,9	665,40
Máxima dispersión tolerable [ps/nm]			12800,00

A continuación presentamos la descripción del equipo empleado en nuestro sistema de transmisión.

5.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EQUIPO DWDM

En este capítulo detallamos el sistema con múltiples longitudes de ondas en el que se fundamenta nuestro diseño, el cual cumple con los estándares G.692 de la UIT-T.

El equipo está diseñado para trabajar con 32 longitudes de onda en la banda C y con 64 longitudes de onda en la banda L. El rango de operación de las longitudes de onda está entre 1530 y 1560 nm.

Para el sistema de transmisión entre la troncal Guayaquil – Quito trabajaremos en la banda C, empleando únicamente tres de las 32 longitudes de onda.

El sistema abierto DWDM acepta directamente señales de entrada como: PDH, SDH, ATM, IP, entre otras, con bits desde 100 Mbps a 1.25 Gbps, 2.5 Gbps y 10 Gbps; lográndose obtener hasta 80 Gbps en una sola fibra mediante técnicas de multiplexado de los canales (32 x 2.5 Gbps).

El espaciamiento entre longitudes de onda o canales ópticos es de 100 Ghz, con una tolerancia de desviación de longitud de onda igual a ± 0.12 nm. El sistema usado puede cubrir tramos de hasta 180 Km. sin utilizar amplificadores de línea.

5.8 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENTRADA

El equipo acepta como señales de entrada a las señales ópticas estándares y a las señales pre-coloreadas.

5.8.1 Señales Ópticas Estándar

Comprende señales asíncronas (entre 100 Mbps y 1.25 Gbps), tales como señales PDH, ATM, IP, etc.

5.8.2 Señales Pre-Coloreada

Estas son señales provenientes de equipos multiplexores SDH, que proporcionan una señal coloreada. Se llama señal coloreada a aquella señal que tiene una longitud de onda conforme a la rejilla definida por la UIT-T para sistemas DWDM.

5.9 CONVERTIDOR DE LONGITUD DE ONDA

Cuando las señales de entrada para nuestro sistema DWDM corresponde a las señales ópticas estándar, es necesario incluir en el enlace un convertidor de longitud de onda cuya función es llevar la señal de entrada a un valor que satisface con la transmisión de múltiples longitudes de onda. (ver figura 5.5)

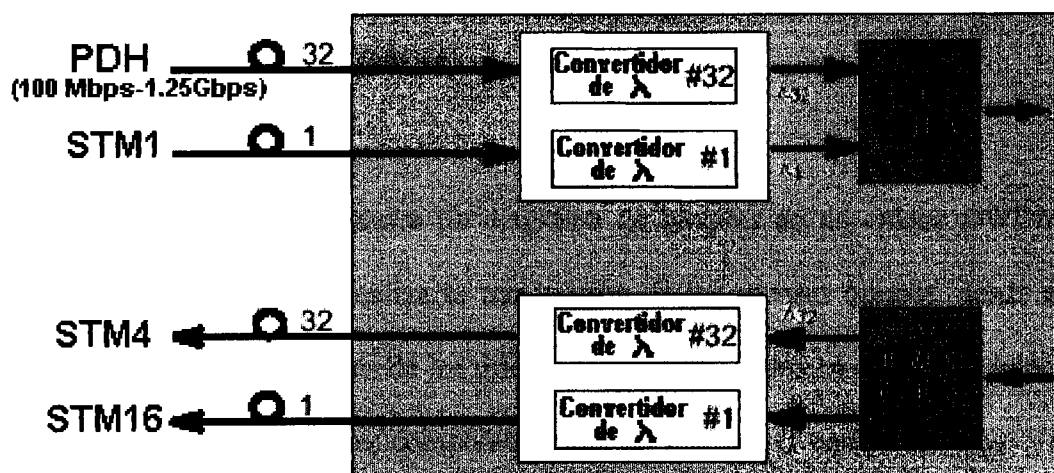


Figura 5.5: Convertidor de longitudes de onda

Mientras que cuando maneja como entrada señales pre-coloreadas (tramas STM-16 o STM-64), el convertidor de longitud de onda no es necesario porque con anterioridad la señal ha sido coloreada por las interfaces ópticas del equipo SDH. Por lo tanto este convertidor no es necesario (figura 5.6) optimizándose los costos.



Figura 5.6: Convertidor de longitud de onda opcional

5.10 DISEÑO FUNCIONAL

La siguiente figura muestra un diagrama de bloques de un enlace DWDM, en el que observamos como se realiza la transmisión de los canales ópticos, desde el transmisor hacia el receptor a través de los diferentes equipos usados en el diseño. Además podemos notar que los principales componentes, lo constituyen el equipo terminal y el equipo de línea, éste último puede ser un equipo repetidor óptico lineal o un repetidor óptico con las funcionalidades add/drop.



Figura 5.7: Equipos del sistema DWDM

El equipo terminal tiene como funciones principales:

- Multiplexado y Demultiplexado óptico
- Amplificación de la señal
- Conversión de las longitudes de onda (a valores que satisfacen la rejilla DWDM)

El equipo de línea provee principalmente las funciones de:

- Amplificación de línea
- Extracción/Inserción de longitudes de onda (OADM).

A continuación detallamos el proceso en la transmisión de los canales ópticos tanto del lado de la transmisión como del lado de la recepción.

5.10.1 Lado de Transmisión

El equipo tiene del lado del transmisor los convertidores de longitud de onda para tomar las señales de entrada y llevarla a los valores establecidos por la UIT-T. Luego estas señales coloreadas son enviadas al multiplexor, donde una vez que es multiplexada la señal, se la amplifica a través de un Booster para incrementar su potencia debido a las pérdidas inherentes en el proceso de multiplexación y posteriormente es llevada a través de la fibra, antes de lo cual se añade una λ adicional o extra a 1480nm ó 1510nm (longitud de onda que se denomina canal de supervisión).

5.10.2 Lado de Recepción

En esta etapa, se separa el canal de supervisión de la señal óptica multiplexada y luego esta señal es amplificada a través de un pre-amplificador, eliminando el ruido

acumulado en el enlace. Posteriormente el demultiplexor separa la señal compuesta en señales individuales, las cuales son recibidas por los convertidores de longitud de onda.

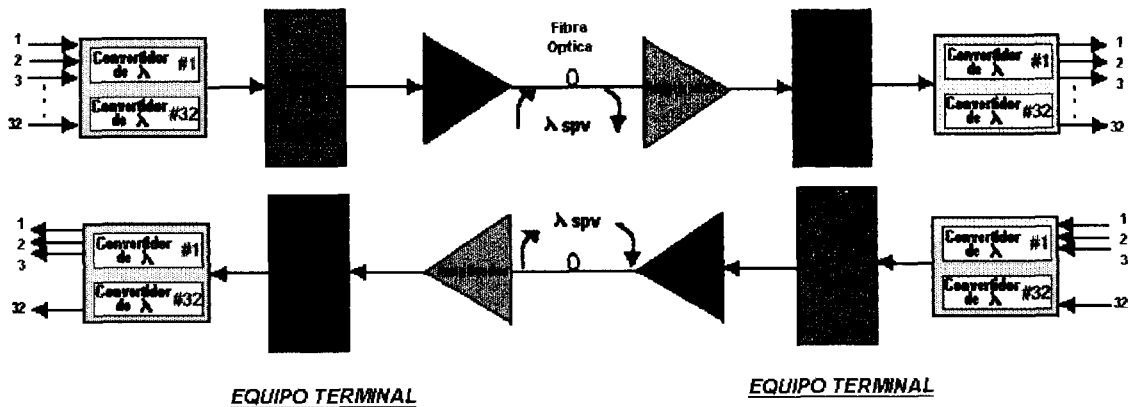


Figura 5.8: Proceso de transmisión y recepción de la señal DWDM

5.10.3 Canal de Supervisión

El canal de supervisión es una longitud de onda extra, es decir no está incluida en el juego de las 32 longitudes de onda que llevan la información o la carga útil. La función de este canal es supervisar que la información llegue al equipo remoto sin errores.

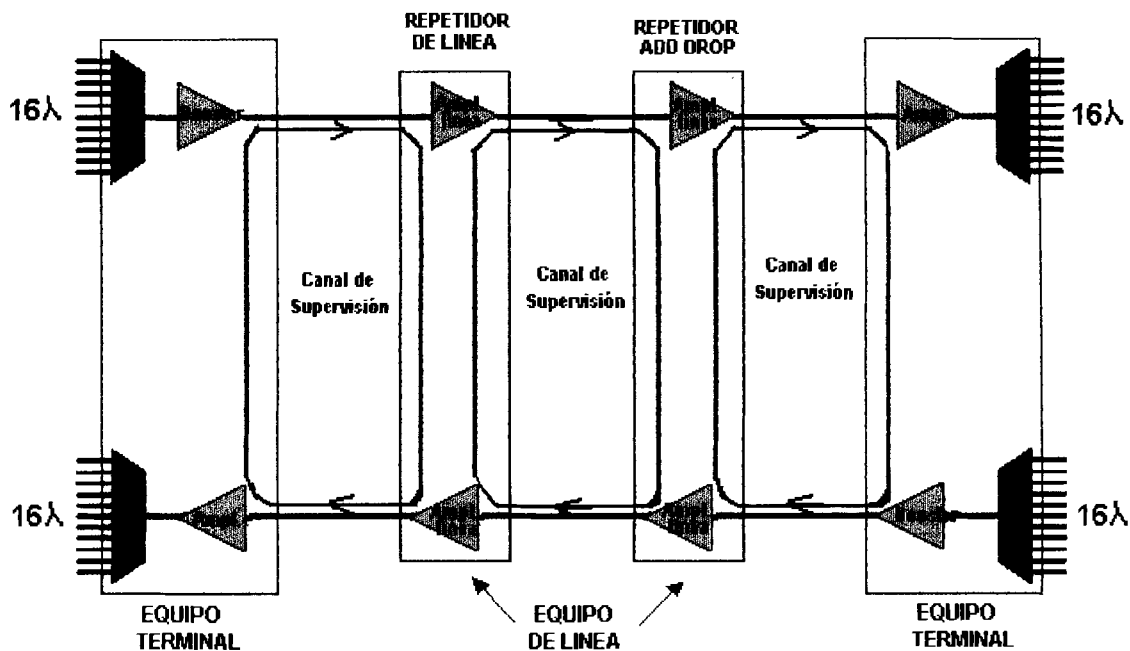


Figura 5.9 Canal de Supervisión óptico

5.11 LONGITUD DE ONDAS USADAS POR EL EQUIPO

A continuación se presenta la tabla con los valores de las 32 longitudes de onda y su frecuencia central nominal basadas en un plan de espaciamiento entre canales de 100GHz utilizadas por el equipo seleccionado para el diseño.

Tabla XVI Plan de Frecuencias y longitudes de onda establecidas en el equipo.

N ° del canal	Frecuencia (GHz)	Longitud de Onda (nm)
1	192200	1559.79
2	192300	1558.98
3	192400	1558.17
4	192500	1557.36
5	192600	1556.55
6	192700	1555.75
7	192800	1554.94
8	192900	1554.13
9	193000	1553.33
10	193100	1552.52
11	193200	1551.72
12	193300	1550.92
13	193400	1550.12
14	193500	1549.32
15	193600	1548.51
16	193700	1547.72
17	194300	1542.94
18	194400	1542.14
19	194500	1541.35
20	194600	1540.56
21	194700	1539.77
22	194800	1538.98
23	194900	1538.19
24	195000	1537.40
25	195100	1536.61
26	195200	1535.82
27	195300	1535.04
28	195400	1534.25
29	195500	1533.47
30	195600	1532.68
31	195700	1531.90
32	195800	1531.12

5.12 LONGITUDES DE ONDAS USADAS EN EL DISEÑO

De las 32 longitudes de onda que ofrece el equipo, se han empleado las tres primeras para nuestro sistema de transmisión de la red troncal que comunica las ciudades de Guayaquil, Salinas, Manta, Quevedo, Santo Domingo y Quito.

Para escoger las longitudes de ondas en las que operará el sistema de transmisión, el administrador de la red posee completa libertad de selección.

5.13 REPETIDOR OADM

El repetidor OADM a parte de brindar las propiedades de un repetidor estándar tiene una capacidad óptica add/drop que permite extraer o insertar longitudes de ondas fijas (predefinidas) desde la carga útil óptica.

En esta unidad repetidora, una doble etapa de amplificación es importante, razón por la cual el equipo está dotado con dos amplificadores de línea, uno para cada dirección de la transmisión. (Señal de ida y de retorno)

De igual manera, la presencia de dos módulos OADM es primordial, uno para cada dirección de la transmisión.

5.14 INTERFACES ÓPTICAS

Si la trama utilizada es STM-16 ó STM-64, no es necesario el uso de los convertidores de longitud de onda y las interfaces ópticas que se emplean son las siguientes: S.1.1; S.4.1; S.16.1; S.64.2; L.1.2; L.4.2; L.16.2 definidos por la UIT-T G.957 y dependen del tipo de señal usada. Pero para tramas diferentes a ésta (señales ópticas estándar) en las cuales es necesario el adaptador de longitud de onda existe un amplio rango de interfaces ópticas desde 2L-16.2 a 8L8-16.2 y 16L5-16.2 definidos por la UIT-T G.692, las cuales serán escogidas dependiendo de la longitud del enlace.

5.15 INTERFACES ELÉCTRICAS

Para la administración del sistema de transmisión el equipo es dotado de dos interfaces eléctricas: Interfaz F e Interfaz Q.

5.15.1 Interfaz F

Mediante esta interfaz (RS-232C) se realiza el control local del sistema a través de un PC local a 9600 bps.

5.15.2 Interfaz Q

Es utilizada para gestión de la red, mediante interfaz Ethernet. Este tipo de gestión permite el control de cualquier nodo de la red, es decir: entre dos estaciones terminales, entre dos estaciones de línea o entre una estación terminal y una estación de línea.

5.16 PROTECCIÓN ÓPTICA DEL SISTEMA

En caso de que se corte la fibra, para evitar la exposición del rayo de luz (el mismo que es perjudicial para el operador de la red) el equipo usa un procedimiento para la seguridad humana, denominado Apagado Automático del láser (Automatic Laser Shutdown). Este procedimiento cumple con la recomendación G.958 de la UIT-T.

5.16.1 ALS

La función de apagado del láser ALS se implementa para protección humana de forma tal que la radiación láser no afecte o dañe a las personas cuando existe un corte de fibra, en tal suceso se activa un mecanismo que hace que se apague el láser, sin embargo cada 90-300 ms. se vuelve a encender por un corto período de 30ms y se vuelve a apagar repitiéndose el ciclo. Este período corto de tiempo en el cual el láser permanece encendido no obstante es inocuo para el ser humano.

Al momento de reconectar la fibra, el extremo distante sensa esa potencia y restablece la operación normal del láser.

5.17 ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA

El sistema posee una administración completamente local a través de un PC estándar, vía craft terminal, el mismo que es conectado a través de la interfaz F la cual utiliza el software base y estándar: DOS/WINDOWS. Esto hace posible acceder a la configuración del equipo como al estado de las alarmas.

Además el equipo está dotado de una administración centralizada, la cual se realiza mediante la interfaz Q.

5.18 PROTECCIÓN DE LA RED

La protección de la red es asumida por el equipo SDH, a su vez cada equipo óptico DWDM emplea el tipo de protección 1+1 (standby), es decir posee dos fuentes de poder por subrack.

5.19 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO

En la siguiente tabla se presentan las características técnicas del equipo usado para el sistema troncal Guayaquil – Quito.

Tabla XVII: Especificaciones Técnicas del Equipo

PARÁMETROS DEL SISTEMA	CARACTERÍSTICAS
Tributarios ópticos	Terminales de Multiplexado óptico con o sin funciones de amplificación de línea y add/drop.
Número de Tributarios	hasta 32 canales en banda C.
Dispersión Cromática	6400 ps/nm y 12800 ps/nm en 2,5 Gbit/s y 1400 ps/nm en 10 Gbit/s.
Seguridad Óptica	Rec. G.958
Conector óptico estándar	SC/SPC o FC/SPC

5.20 PRESUPUESTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DWDM

Presentamos el presupuesto para el diseño del sistema troncal Guayaquil – Quito.

Tabla XVIII Presupuesto del Sistema de Transmisión DWDM

ESTACIÓN TERMINAL

Dispositivo	Cantidad	Costo x Unidad	Subtotal
LÁSER	2	80.985	161.970
PHOTODETECTOR	2	74.700	149.400
CONVERTIDOR DE LONGITUD DE ONDA	6	34.500	207.000
MUX/DEMUX ÓPTICO	2	72.580	145.160
AMPLIFICADOR DE LÍNEA	2	48.000	96.000
AMPLIFICADOR DE POTENCIA (Booster)	2	60.000	120.000
INSTALACIÓN DEL EQUIPO TERMINAL	2	19.477	38.954
			918.484

ESTACIONES INTERMEDIAS**Equipo Repetidor Óptico Lineal**

Dispositivo	Cantidad	Costo x Unidad	Subtotal
AMPLIFICADOR DE LÍNEA	3	35.590	106.770
INSTALACIÓN	3	13.856	41.568
			148.338

Multiplexor Óptico add/drop

Dispositivo	Cantidad	Costo x Unidad	Subtotal
OADM	4	102.600	410.400
INSTALACIÓN	4	15.984	63.936
			474.336

Total: 1.541.158

A todo esto se añade el ahorro en la adquisición e instalación de la fibra lo cual representa \$13.836.450 (922,43 Km. * \$15.000), dando un total de \$ 15.377.608.

CAPITULO VI

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

6.1 ESPECIFICACIONES

Nuestro sistema contará con dos equipos terminales, cuatro OADMs, tres amplificadores ópticos y un sistema de gestión.

El sistema de gestión puede tener diferentes estructuras, y la administración se puede realizar ya sea de manera local, remota o global (ver sección 5.2.4). Todos los equipos que forman parte de la red DWDM son controlados por el sistema de gestión en nuestro centro de administración de la red, el cual estará ubicado en la ciudad de Guayaquil.

El sistema de gestión nos permitirá: monitorear y mostrar todas las alarmas de los elementos de red (NEs), programar y configurar los canales ópticos, realizar pruebas en nuestro enlace y diagnosticar el buen funcionamiento de nuestra red.

El software del sistema de gestión trabaja bajo Windows NT, nosotros podemos conocer el tipo de alarma, la fecha y tiempo de la falla, el lugar donde se presenta la falla, la posible causa y estado de la alarma.

6.2 INSTALACIÓN

La instalación de nuestra red cuenta de tres etapas:

- Instalación del cable de fibra óptica (enterrado, aéreo y canalizado).
- Instalación de los equipos de transmisión: terminales, OADMs y repetidores ópticos.
- Instalación del resto de equipos y cableado: ODFs, fuerza, distribuidores, etc..

6.2.1 INSTALACIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

La fibra que vamos a utilizar es la que cumple con la recomendación G-655 ya que comparada con otras fibras es la que tiene menor impacto a los efectos no lineales.

El tendido e instalación de la fibra óptica debe realizarse siguiendo los más altos estándares de calidad y siguiendo las mejores prácticas de la industria de

telecomunicaciones como son: porcentaje de seguridad en la longitud de la fibra óptica, holgura del cable en cada empalme, curvatura máxima recomendable en los pozos de inspección, acometidas a los edificios, etc.

Existirá una cinta de advertencia, que se instalará a unos 0,50 metros por encima del cable, esta cinta debe ser puesta en forma continua y plana en su parte más ancha. Además la cinta debe ser de color naranja, resistente a la acción de la humedad y de hidrocarburos, y tener las correspondientes inscripciones de advertencia.

La mayor parte del cable de fibra óptica va enterrado a un extremo de la carretera de la ruta Guayaquil-Quito, pero también existe cable canalizado donde existe la infraestructura de Pacifictel S.A. y cable aéreo las posibilidades de enterrarlo o canalizarlo es nula debido a que no se tiene el espacio necesario o canalización alguna. Los empalmes deben ser protegidos por cajas de empalmes con protección al agua.

Cuando un cable de fibra óptica de exteriores entra en un edificio, se debe empalmar a un cable de interiores utilizando: Caja de empalmes y panel de conexiones (ODF). Además debe dejarse aproximadamente 20 pies en cada extremo para futuras terminaciones o empalmes.



6.2.2 INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE TRANSMISIÓN

Los equipos de transmisión se instalarán en ubicaciones restringidas o localidades controladas como centros de conmutación. Nuestro equipo terminal será instalado en la sala de múltiplex en la ciudad de Guayaquil así como en la sala de múltiplex de Quito, donde también se encuentran los múltiplex SDH de la red de Pacifictel S.A. actual. Estas salas cumplen con todas las especificaciones técnicas necesarias para un buen funcionamiento de nuestros equipos.

Nuestros OADMS serán ubicados en las centrales de Salinas, Manta, Quevedo y Santo Domingo que cumplen con todas las especificaciones técnicas requeridas.

Los repetidores ópticos serán ubicados en las centrales de Puerto López, Delicias y San Miguel que requieren de trabajos extras para ser habilitadas como sitios aptos para la instalación de nuestros equipos.

6.2.3 INSTALACIÓN DEL RESTO DE EQUIPOS Y CABLEADO

Entre estos equipos se encuentran los conectores los que deben cumplir con las especificaciones de nuestros equipos, los cuales son del tipo SC o FC. Debemos utilizar materiales y métodos apropiados de limpieza en los conectores ópticos. Estos conjuntamente con los adaptadores deben ser inspeccionados antes de cualquier conexión o reconexión.

El sistema de gestión se instalará en una sala cercana a la sala donde ubicaremos el equipo terminal en la ciudad de Guayaquil.

El cableado debe ser estructurado y debe estar dispuesto en racks paralelos a los equipos DWDM, para tener mayor facilidad y eficiencia a la hora de dar mantenimiento ya sea preventivo o correctivo.

Los ODFs ya se están instalados en las diferentes centrales donde se encuentran los ADMs de la red SDH.

6.3 MANTENIMIENTO Y MEDICIONES

Cuando ya se encuentre trabajando nuestra red DWDM, nosotros debemos de realizar las siguientes mediciones de mantenimiento:

- Localización de fallas.
- Atenuación óptica.
- Nivel de Emisión.
- Reflexión de la potencia.
- Rango dinámico de recepción.
- Ancho espectral.
- OSNR.
- Ganancia Inclínada.
- Isolation/Cross-talk.

6.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN

En nuestro enlace nosotros tenemos que llevar a cabo mantenimiento preventivo como mantenimiento correctivo para así localizar y solucionar las fallas lo más rápidamente posible. En comunicaciones ópticas existen algunos equipos de medición, que nos servirán tanto en la instalación, mantenimiento, producción e investigación de redes DWDM. Entre los principales equipos que vamos a utilizar en la instalación y mantenimiento de nuestra red se encuentran:

- Localizador de fallas.
- Fuente de Luz.
- Medidor de potencia.
- Atenuador Óptico.
- ORLM.
- OTDR.
- Analizador de Espectro Óptico.
- Medidor BER.
- Microscopio de inspección.

6.4.1 LOCALIZADOR DE FALLAS

Tenemos dos tipos de localizadores de fallas:

- *Detector de actividad.*- Nos indica si una fibra óptica está llevando tráfico o no, además puede identificar el sentido de la luz.
- *Localizador visual de fallas.*- Nos permite ubicar la falla en un patch cord usando luz roja, la que traspasa la cubierta y es visible al ojo humano (Ver Fig. 6.1).

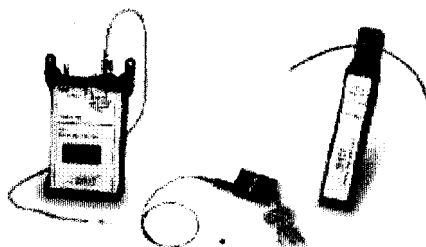


Figura 6.1 Indicadores de fallas visuales.

6.4.2 FUENTE DE LUZ

Entre las fuentes de luz tenemos las de tipo LED y las de tipo Láser (Ver Fig. 6.2), las cuales operan en las diferentes ventanas ópticas. Existen con emisión a niveles fijos, así como sintonizables.

Este tipo de fuentes requieren de adaptadores para así trabajar con diferentes tipos de conectores; y deben tener estabilidad en el valor de emisión.

Cuando se trabaja en el campo este tipo de fuentes tiene alimentación con baterías recargables.

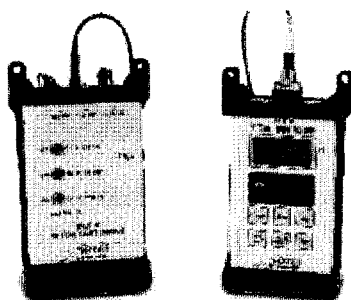


Figura 6.2 Fuentes de luz láser.

6.4.3 MEDIDORES DE POTENCIA

Este equipo mide la potencia óptica en dBm y la lectura la presenta en su pantalla. Sirve para fibras monomodo y multimodo y opera en las diferentes ventanas ópticas.

En las lecturas se debe tomar en cuenta el ruido propio del equipo para tener un resultado más exacto, se puede tomar una medida como referencia. En la figura 6.3 se muestra un medidor de potencia portátil de reducido tamaño, adecuado para trabajo de campo.

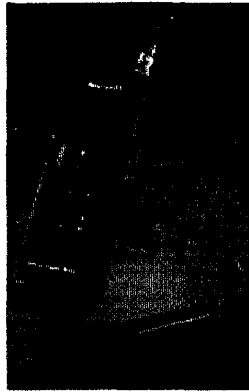


Figura 6.3 Medidor de potencia portátil.

6.4.4 ATENUADORES ÓPTICOS

Este equipo sirve para simular una fibra de longitud grande y comprobar como responde el sistema (Ver Fig. 6.4). Sirve para fibras monomodo y multimodo.

La atenuación deseada se la obtiene ajustando una perilla en el equipo mediante pequeños pasos y se le deben colocar adaptadores para operar con los distintos tipos de conectores.

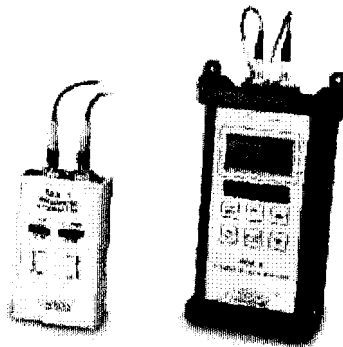


Figura 6.4 Atenuadores ópticos.

6.4.5 ORLM

El Medidor de Pérdidas de Retorno Ópticas (ORLM) es un equipo que permite medir cuanta potencia óptica regresa por el enlace de transmisión (Ver Fig. 6.5). Este es un equipo manual y puede ser utilizado en el campo durante la instalación.

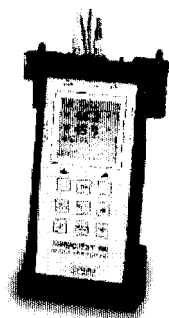


Figura 6.5 ORLM.

6.4.6 OTDR

Este equipo sirve para localizar eventos tales como: empalmes, conectores, cortes y su respectiva ubicación. Se lo utiliza para obtener una representación visual de las características de atenuación de una fibra a lo largo de toda su longitud. Trabajan en las diferentes ventanas ópticas y su costo es elevado. En la figura 6.6 se muestra un OTDR.

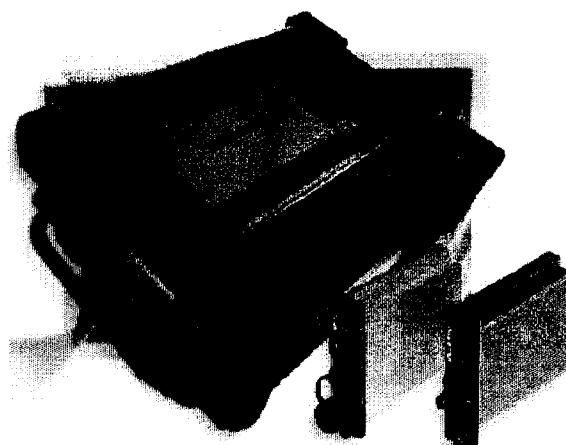


Figura 6.6 OTDR.

El Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR) se caracteriza por su alcance y resolución (exactitud). Se aplica solamente en segmentos ópticos, ya que no mide atenuación en un repetidor dado.

El OTDR lo que hace es inyectar un pulso de luz de corta duración dentro de la fibra óptica, debido a los eventos en la misma (empalmes, conectores, cortes) parte de esa energía inyectada será reflejada, ya que no puede seguir propagándose. La velocidad de la luz es conocida, por lo tanto se puede calcular la distancia de los eventos mediante los tiempos de retorno de esa energía reflejada. El gráfico que presenta es atenuación en función de la distancia.

Existen OTDR de diferente tamaño, costo, rango dinámico, pueden ser adaptados a PC o laptop, poseen baterías de larga duración y además tienen capacidad de almacenamiento. Se lo puede utilizar en redes LAN hasta redes de larga distancia.

Todos los OTDR tienen una zona muerta, que es una determinada distancia en la que no pueden medir, por lo que se recomienda agregar un cordón de conexión que corresponda a la zona muerta y proceder a realizar la medición. Además no pueden producir mediciones espectrales.

6.4.7 ANALIZADOR DE ESPECTRO ÓPTICO (OSA)

Este equipo se encarga de realizar las mediciones de las diferentes longitudes de onda empleadas en nuestra red: Las longitudes de onda del canal óptico y la longitud de onda de supervisión. En la figura 6.7 se muestra un analizador de espectro óptico.

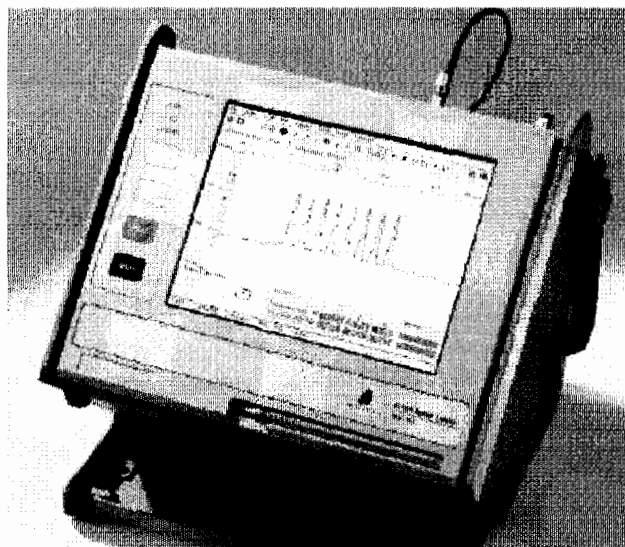


Figura 6.7 Analizador de espectro óptico.

Las principales características del equipo son las siguientes:

- Ventana de operación.
- Rango dinámico.
- Exactitud.

Con este equipo realizamos las siguientes mediciones:

- *Potencia del canal.*- Como muestra la figura 6.8 podremos observar con el OSA el pico o nivel de potencia óptica de cada canal o longitud de onda. Con esta medida nos aseguramos que la distribución de potencia sobre el ancho de banda entero de los amplificadores ópticos sea casi plana.

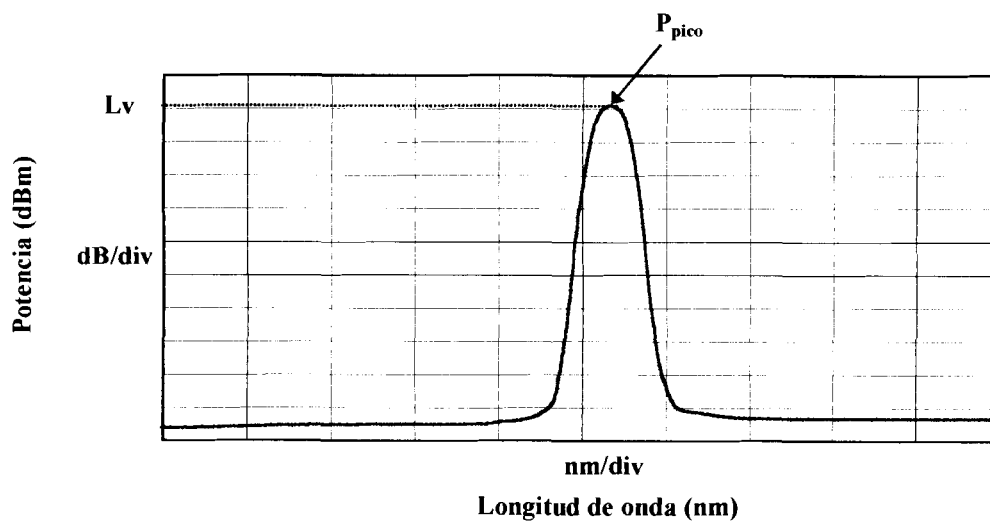


Figura 6.8 Medida de nivel de potencia.

- *Longitud de onda de operación.*- Como muestra la figura 6.9 podremos observar con el OSA en que longitud de onda se encuentra centrado cada canal óptico (nm).

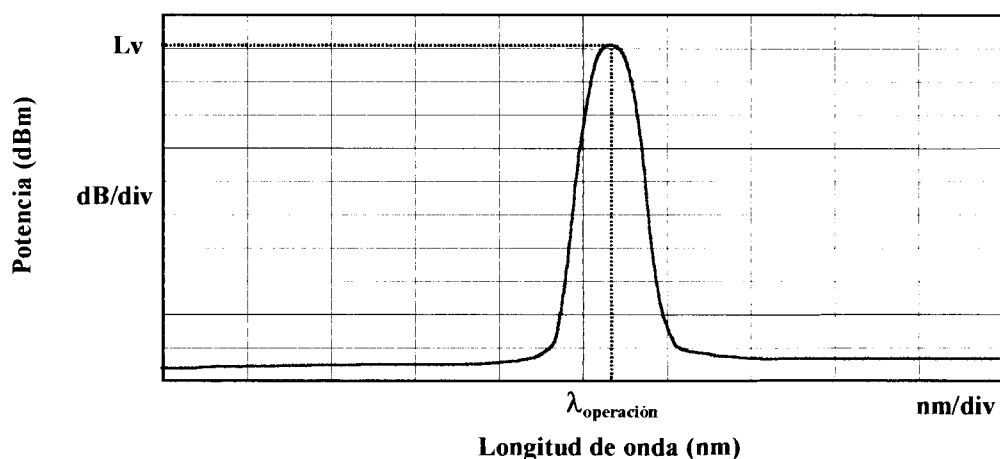


Figura 6.9 Medida de longitud de onda de operación.

- *OSNR.*- Como muestra la figura 6.10 podremos observar con el OSA la relación señal óptica a ruido de cada longitud de onda. Se escoge el peor $P\Delta\lambda$ y de esta forma el equipo calcula el OSNR de la señal. Cuando calculamos el OSNR siempre se escoge $\Delta\lambda = 0.72$ nm para todas las longitudes de onda, excepto para las que se encuentran a la salida del Demux, para la salida del Demux se escoge el $\Delta\lambda = 0.35$.

El OSNR es un parámetro que indica el desempeño y garantiza la calidad del enlace y viene dado por:

$$\text{OSNR} = P_{\text{pico}} - P\Delta\lambda$$

El OSNR de una portadora depende del número de amplificadores, del número de canales y de la propia longitud de onda del canal.

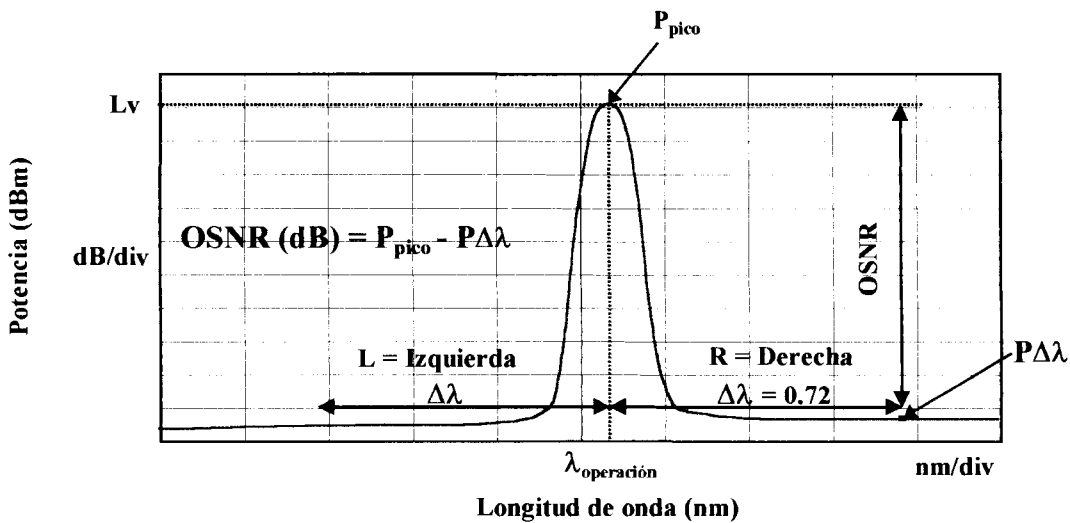


Figura 6.10 Medida de OSNR.

- *Ganancia inclinada.*- Como muestra la figura 6.11 podremos observar con el OSA la ganancia inclinada (ΔG) entre las diferentes longitudes de onda. La ganancia inclinada debe ser menor a 10 db, caso contrario se produce cross talk.

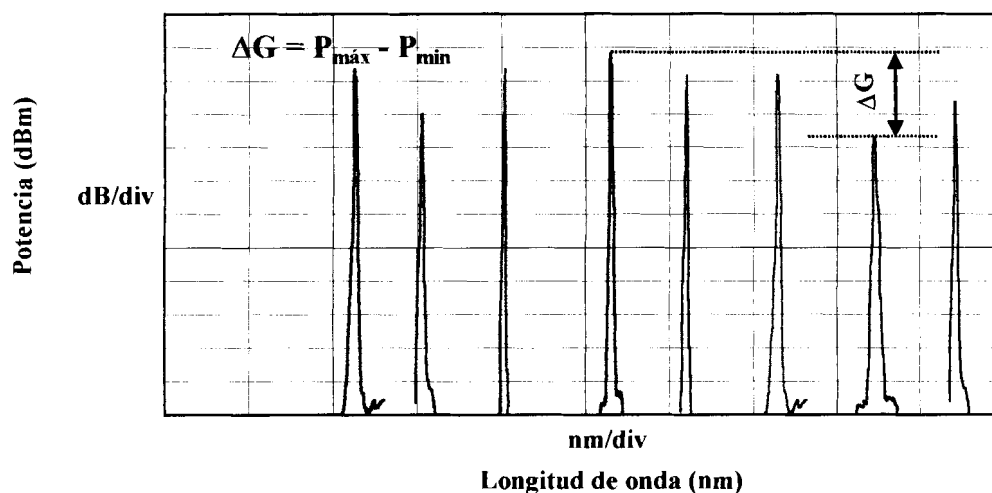


Figura 6.11 Medida de ganancia inclinada.

- *Ancho del canal.*- Con el OSA podremos definir el ancho de banda de cada canal óptico (nm). En ocasiones se toma como referencia la respuesta espectral de una señal óptica como una forma gaussiana. Esta medida nos indica posibles desvíos de longitudes de onda en láseres individuales de nuestro sistema.
- *Espaciamiento.*- Con el OSA podremos medir la separación entre canales ópticos (nm).
- *Cross-talk/isolation del canal óptico adyacente y no adyacente.*-Estas medidas las puede establecer el OSA y se muestran en la figura 6.12.

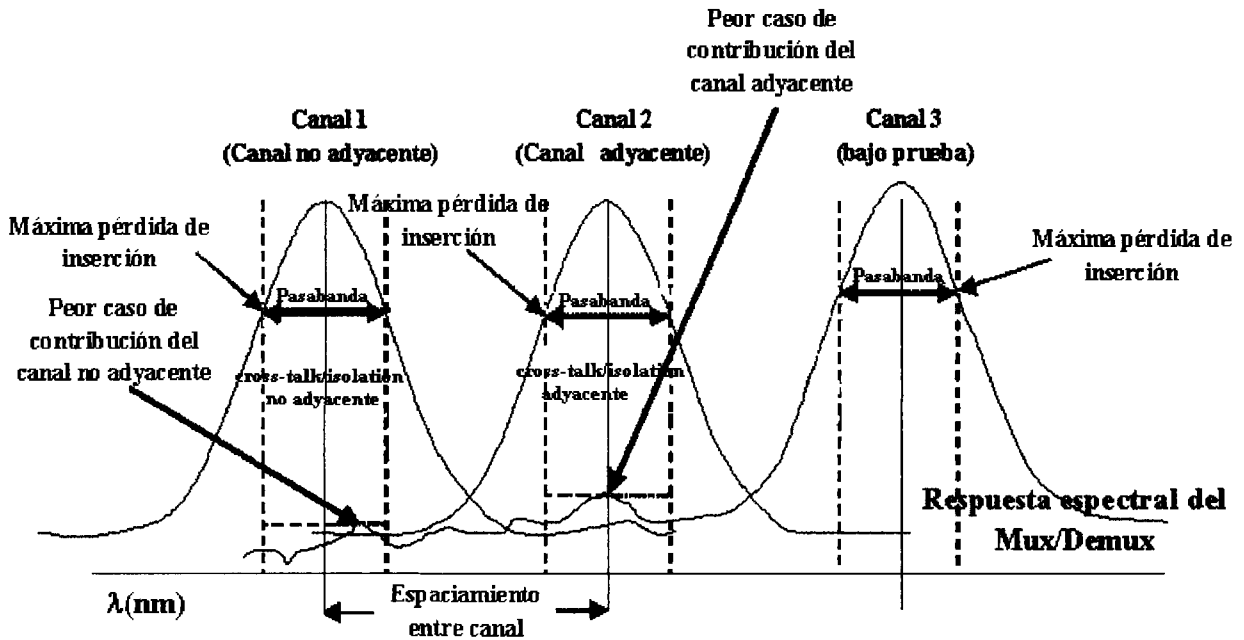


Figura 6.12 Medida de cross-talk/isolation.

Isolation representa la interferencia entre canales originados por el PMD y cross-talk representa la interferencia entre canales debido a la dispersión de la luz cuando la señal es insertada en cada NE, debido a imperfecciones en la guía de onda (índice de los dispositivos, dimensiones de la guía de onda). Por lo expuesto ambos términos se conocen como cross-talk/isolation, que dependiendo del canal en que se origine adyacente o no adyacente se lo conoce como cross-talk/isolation adyacente o no adyacente respectivamente. Estos parámetros son expresados en dB.

6.4.8 ANALIZADOR DE TASA DE ERROR

El Analizador de Tasa de Error que se lo muestra en la figura 6.13 es el equipo que se encarga de manejar las velocidades binarias de nuestro sistema de transmisión óptico. Trabaja con tecnologías PDH, SDH, ATM y se lo puede implementar con interfaces ópticas para ser usado con DWDM. Además cumple con todos los estándares internacionales de medición.

La relación BER en función de la atenuación varía en forma exponencial. El BER nos permite también comprobar los valores del rango dinámico del receptor.

Los valores de BER óptimos en una fibra óptica están en el orden de los 10^{-10} hasta 10^{-12} .

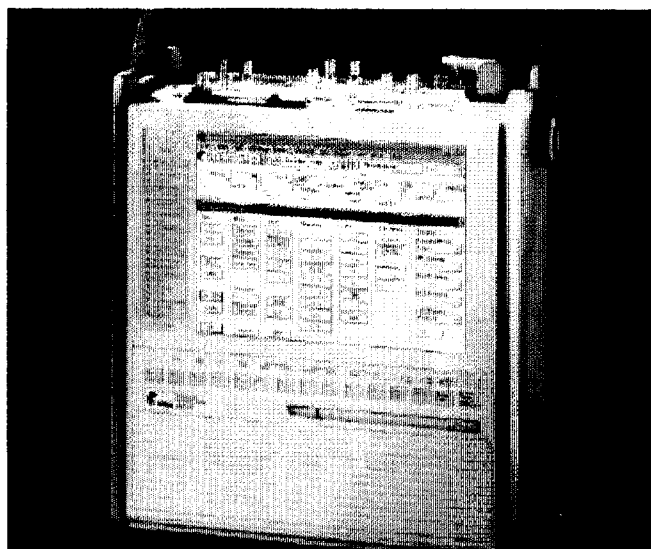


Figura 6.13 Analizador de Tasa de Error.

6.4.9 MICROSCOPIO PARA INSPECCIÓN

Los microscopios para inspección de fibras se utilizan para inspeccionar si los conectores de fibras ópticas presentan arañazos, acumulación de residuos, hoyos u otros problemas asociados normalmente a una transmisión de bajo rendimiento (Ver Fig. 6.14). El microscopio de fibra óptica está diseñado para inspeccionar conectores de cables de fibra óptica, cables del panel de control o puentes de prueba.

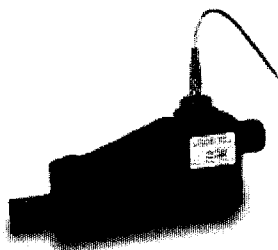


Figura 6.14 Microscopio para inspección de fibra.

6.5 FALLAS MÁS COMUNES EN LOS SISTEMAS DWDM

En los sistemas que emplean tecnología DWDM existen una variedad de fuentes de ruido, así como una variedad de fuentes de distorsión. Estos dos tipos de fuentes producen una cantidad de problemas en la transmisión de nuestra señal óptica, lo que a su vez se deriva en un incremento de la tasa de bits errados (BER), cross-talk y demás fenómenos mencionados anteriormente.

La dispersión y los fenómenos no lineales impactan el BER y el nivel de cross-talk, los que no son detectados de manera directa.

Además la temperatura juega un papel importante provocando una mala operación de los componentes, los hace funcionar fuera de lo normal y por ende afecta a la señal óptica, la potencia de salida y S/N.

A continuación hablaremos sobre los problemas más comunes en una transmisión DWDM. Pérdida de potencia del canal óptico.

6.5.1 DEGRADACIÓN DE POTENCIA EN LOS CANALES ÓPTICOS (OCH)

La degradación de los canales ópticos en una transmisión DWDM puede darse por los siguientes factores:

- Pérdida de potencia óptica del láser.
- Falla o daño del modulador.
- Pérdida de sintonía (fuentes sintonizables, receptores y filtros).
- Error de sintonía (fuentes sintonizables, receptores y filtros).
- Degradación o pérdida de ganancia del OFA.
- Mal funcionamiento de los acopladores del OFA.
- Falla del receptor.
- Elevada pérdida de inserción por canal óptico, debido a variaciones de temperatura.

- Falla del OADM al insertar o extraer canales ópticos.
- Demasiada expansión del ancho de canal en el Mux/Demux, lo que decrementa la potencia.
- Acoplador defectuoso del Mux/Demux.
- Pérdida de la capacidad de conmutación del canal óptico, debido a espejos defectuosos.
- Pérdida de la capacidad de conmutación del canal óptico, debido a falla de acoplamiento.
- Corte o desconexión de la fibra óptica.

6.5.2 PÉRDIDA DE LA SEÑAL ELÉCTRICA

La pérdida de la señal eléctrica en la red puede darse por los siguientes factores:

- Falla del receptor.
- Falla del demodulador.
- Pérdida o daño del reloj.

6.5.3 PROBLEMAS EN EL RECEPTOR

En el receptor los problemas más comunes que se presentan son los siguientes:

- Eficiencia.- Se degrada con la edad, dato proporcionado por el fabricante.

- Ganancia.- Se degrada con la edad, es afectada por el voltaje, corriente y temperatura.
- Corriente de salida.- Está relacionada con la eficiencia y la ganancia.
- Tiempo de respuesta.- Relaciona la constante de tiempo y la cantidad de eficiencia.
- Velocidad de operación.- Relacionada al tiempo de respuesta.
- Temperatura.- Disminuye la eficiencia y ganancia, afecta a la sensibilidad.
- Degradación de ganancia.- Incrementa el BER, afecta la señal.
- Degradación de velocidad.- Incrementa el BER.
- Dispersión de la señal recibida.- Incrementa el BER, cross-talk.
- Incremento de la temperatura.- Incrementa el BER.

6.5.4 PROBLEMAS EN EL TRANSMISOR

En el transmisor los problemas más comunes que se presentan son los siguientes:

- Potencia de salida.- Se degrada el nivel de potencia de salida.
- Longitud de onda.- Se desvía la longitud de onda de operación.
- Eficiencia de eléctrico a óptico.- La degradación de eficiencia afecta la potencia de salida.
- Sintonía.- Se altera la velocidad de sintonía y rango de longitudes de onda.
- Estabilidad.- Longitud de onda y potencia de salida.

- Temperatura.- Corrimiento de la longitud de onda, degradación de la potencia de salida.
- Pérdida de potencia de salida.- Pérdida de la señal, excesivo ruido ASE.
- Impacto de la longitud de onda.- Degradación o pérdida de la señal recibida; decrece la relación S/N debido al BER y/o cross-talk.
- Expansión del ancho de canal.- Decrece la potencia óptica, incrementa el BER y/o cross-talk.
- Cambios en el punto medio de modulación.- Incrementa el BER debido a falla en la demodulación, el receptor tiene dificultad para distinguir entre 0 y 1.
- Incremento de la temperatura.- Afecta el espectro de salida y los parámetros del láser.

6.5.5 PROBLEMAS EN LA FIBRA ÓPTICA

En la fibra óptica los problemas más comunes que se presentan son los siguientes:

- Longitud (Km).- Produce pérdida de potencia de la señal.
- Atenuación (dB/Km).- Se obtiene midiendo la potencia a la entrada y a la salida de la fibra, dato dado por el fabricante.
- Coeficiente de dispersión del material ($D_{mat}(\lambda)$).- Ensanchamiento del pulso.
- Coeficiente de dispersión cromática ($D_{cr}(\lambda)$).- Ensanchamiento del pulso.
- Modo de polarización.- Produce ensanchamiento del pulso.

- Longitud de onda de cero dispersión (nm).- Compensación del ensanchamiento del pulso.
- Tensión, curvatura, temperatura.- Propagación y parámetros de dispersión.
- Rompimiento de la fibra.- Pérdida de la señal óptica de todas las longitudes de onda.
- Tensión en la fibra.- Afecta a todas o algunos canales ópticos más que a otros.
- Curvatura en la fibra.- Afecta a todas o algunos canales ópticos más que a otros.

6.5.6 PROBLEMAS EN EL AMPLIFICADOR ÓPTICO

En el amplificador óptico los problemas más comunes que se presentan son los siguientes:

- Bombeo de longitud de onda.- Bombeo de longitud de onda se desvía.
- Potencia de bombeo.- Se degrada el nivel de potencia de bombeo.
- Ganancia diferencial.- La potencia óptica por canal no es plana.
- S/N.- ASE aumenta el ruido.
- Temperatura.- Afecta todos los parámetros de la fibra, ganancia y respuesta plana, eficiencia de bombeo.
- Desvío del bombeo de la longitud de onda.- La ganancia de algunas longitudes de onda decrece, posible LOS de ciertos canales ópticos.



- Bombeo inoperable.- Pérdida de ganancia, incremento de BER, posible LOS de todos los canales ópticos.
- Caída de la potencia de bombeo.- Decrece la ganancia, incremento de BER, posible LOS de todos los canales ópticos.
- Incremento de la potencia de bombeo.- Efectos no lineales, incremento del BER y cross-talk.
- Ganancia de ciertos canales más que otros.- Posible incremento del BER y LOS de los canales ópticos degradados.
- Mal funcionamiento del acoplamiento.- Pérdida de ganancia, incremento del BER y LOS de los canales ópticos.
- ASE.- Incremento de S/N, incremento del BER.
- No linealidades de ciertas longitudes de onda.- Incremento del BER y cross-talk.
- Incremento de temperatura.- Degrada el acoplador, aislador y los parámetros de la fibra.

6.6 SUMINISTRO DE ENERGÍA

Existirá un panel de distribución DC por central para conectarse al panel de Distribución de energía de la central respectiva. El cable de fuerza de interconexión de dichos paneles, tiene una longitud de 30 metros en promedio. Adicionalmente existirá el cable de energía desde el panel de distribución DC hasta los OADMs.

El equipo tiene tres tipos diferentes de unidades de fuente de poder, una dedicada al estante principal, otra dedicada al estante de los convertidores de longitud de onda y otra dedicada a los OADM.

En cada subrack, dos convertidores de DC/DC alimentan todas las tarjetas. Los convertidores tienen protección 1+1. En funcionamiento normal una unidad de fuente de poder puede quitarse sin causar problemas.

El rango de voltaje normal de entrada del módulo de suministro de poder es cualquiera: -40.5V , -48V , -57V ó -50V , -60V . Cuando nuestro equipo trabaja a -48V no sufre algún daño cuando experimenta el rango de voltaje siguiente: 0V a -40.5V y -57V a -60V .

Protección al suministro de poder de la estación es proporcionada a través de breakers de 16A.

El máximo poder de consumo del rack principal es de casi 350 vatios.

Las unidades de poder DC/DC tienen voltajes de salida de:

+ 5.3 V 3%

- 5.5 V 3%

+ 12.1 V 3%

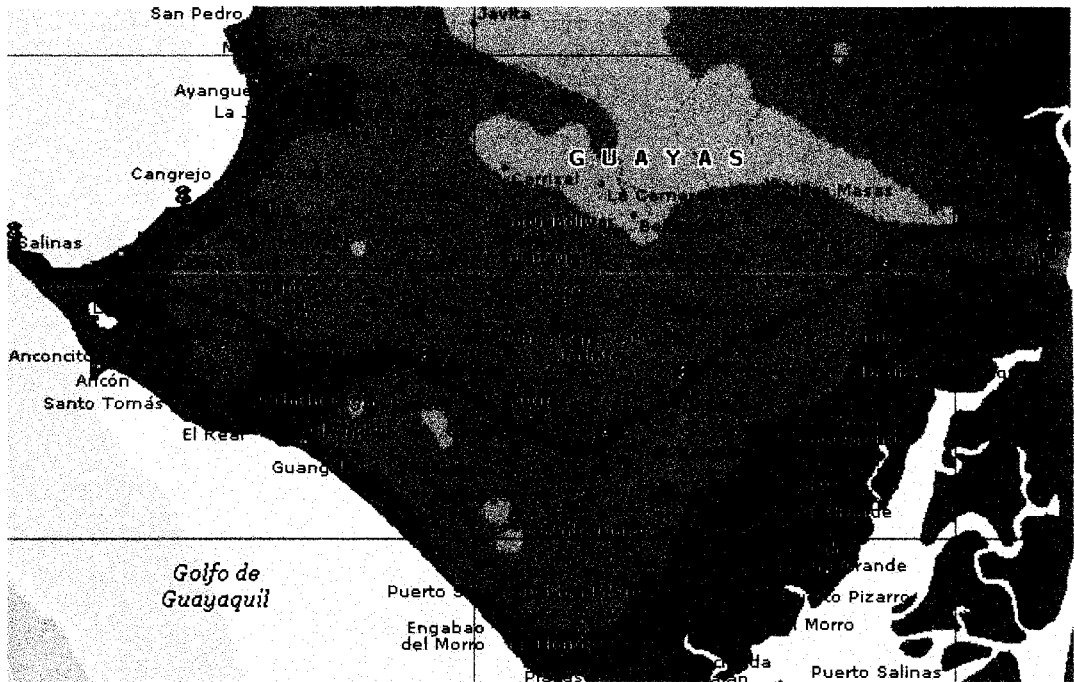
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La multiplexación de longitud de ondas permitirá aumentar la capacidad de transmisión de la red hasta 80 Gbps por fibra, beneficiándose además de funcionalidades nuevas como amplificación y extracción e inserción óptica.
2. Con el uso de los amplificadores intermedios de línea de banda ancha y los dispositivos de corrección de errores (FEC), confieren al sistema altas prestaciones de multitransmisión muy largas. Mientras que las capacidades de inserción/extracción, reconfigurables parcialmente, se utilizan en los nodos intermedios para la terminación parcial del tráfico.
3. DWDM dota a la red óptica de flexibilidad porque incrementa la capacidad de transmisión reduciendo el número de elementos que compone una red y elimina el uso de los regeneradores, compensando las pérdidas de la potencia óptica mediante amplificadores ópticos, reduciéndose el número de puntos intermedios en enlaces de larga distancia, así por ejemplo nuestro sistema puede cubrir más de 500 Km. Con sólo tres puntos de amplificación intermedia.
4. Como acotación final podemos decir que el uso de múltiples portadoras ópticas convierte a DWDM en una tecnología multiplicadora de beneficios.

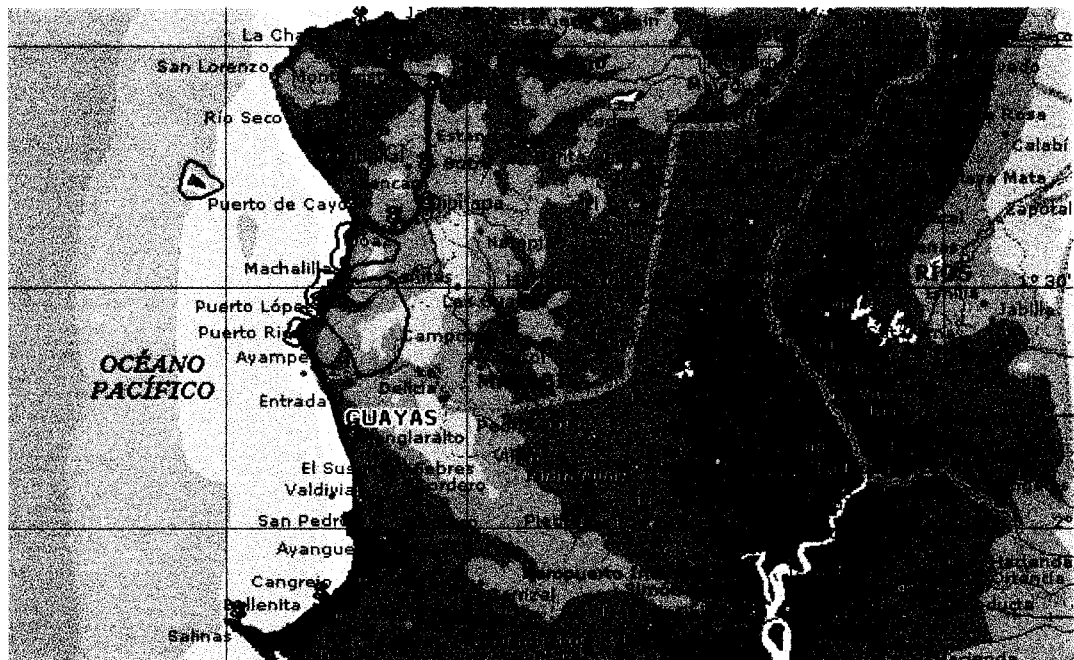
5. Como recomendación sugerimos a los diseñadores de redes emplear en sus infraestructuras futuras elementos que sean compatibles con esta nueva tecnología para su fácil y rápida migración.

ANEXO A

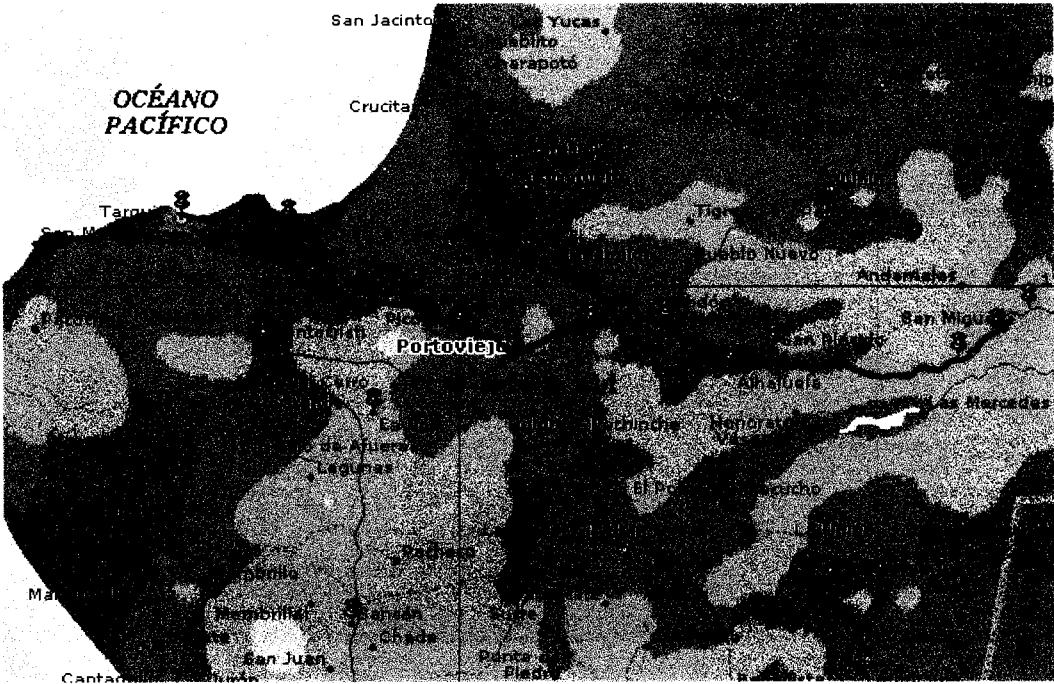
**Ruta de la fibra óptica entre
Guayaquil - Quito**



Ruta Guayaquil-Salinas



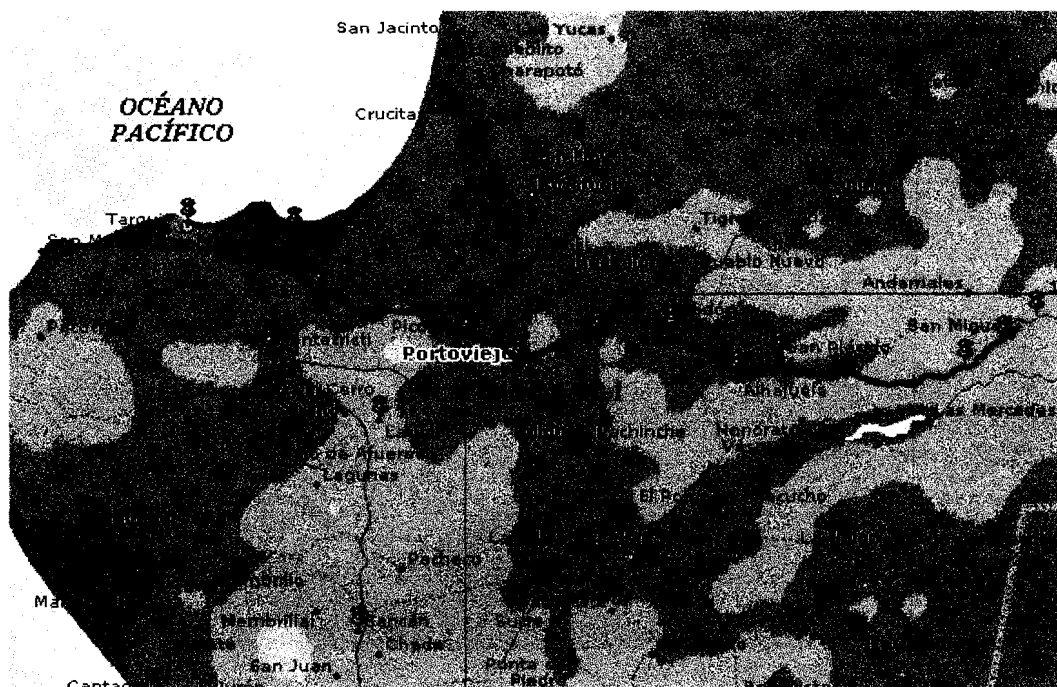
Ruta Salinas-Puerto López-Manta



Ruta Manta-Las Delicias



Ruta Las Delicias-Quevedo



Ruta Manta-Las Delicias

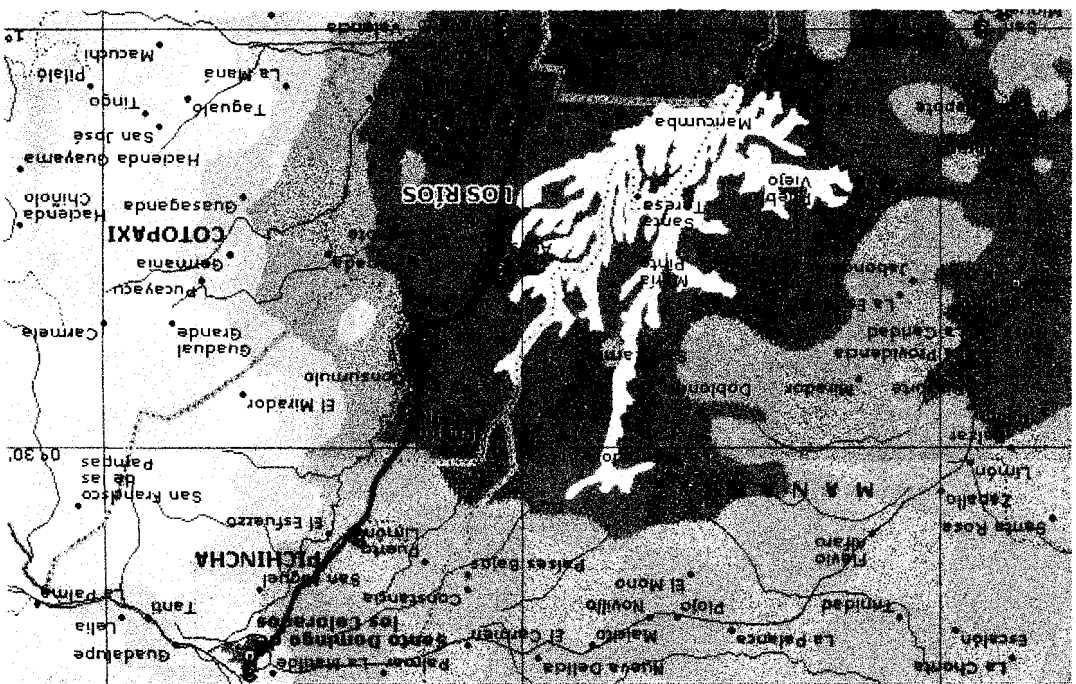


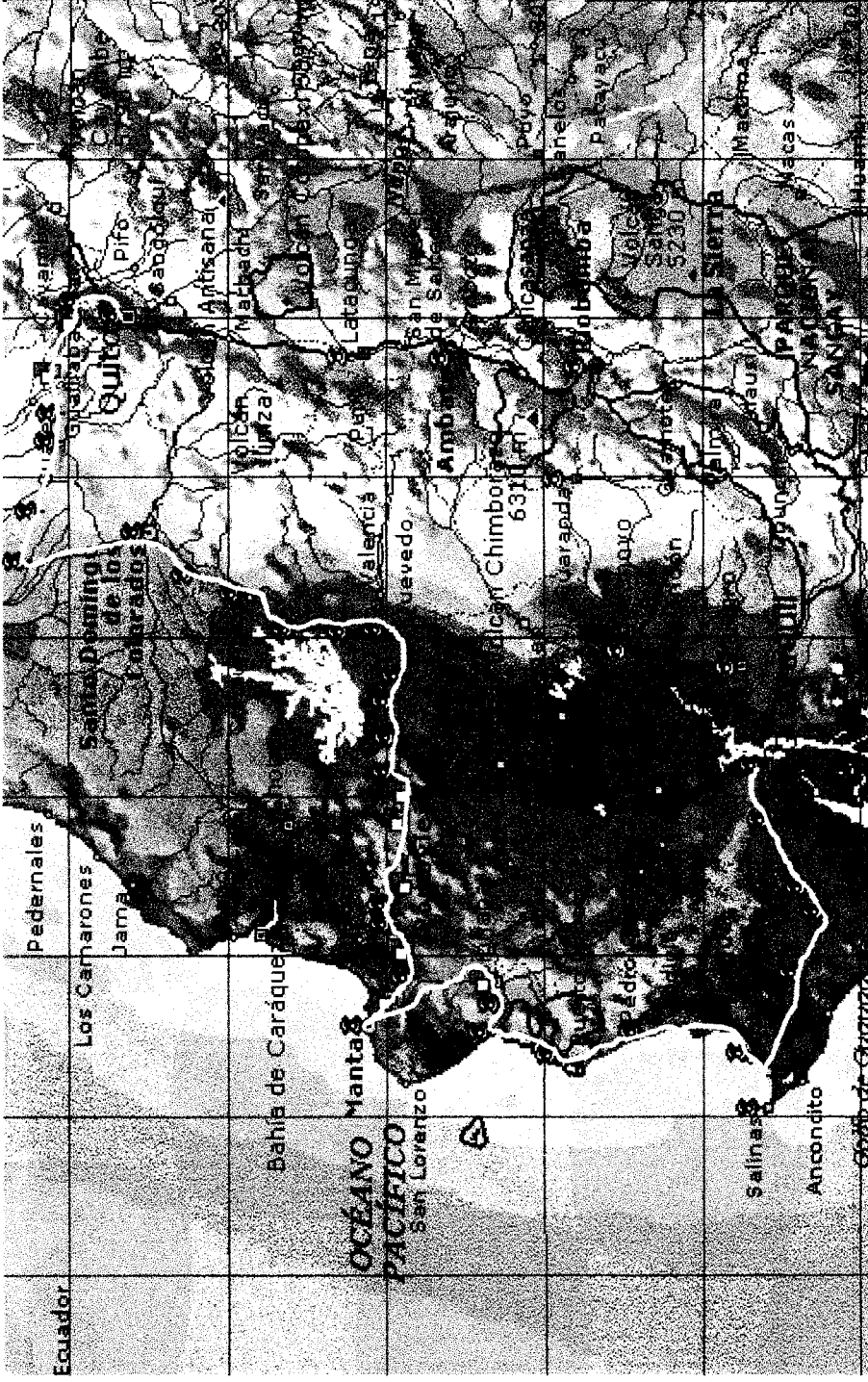
Ruta Las Delicias-Quevedo

Ruta Santo Domingo-Quito

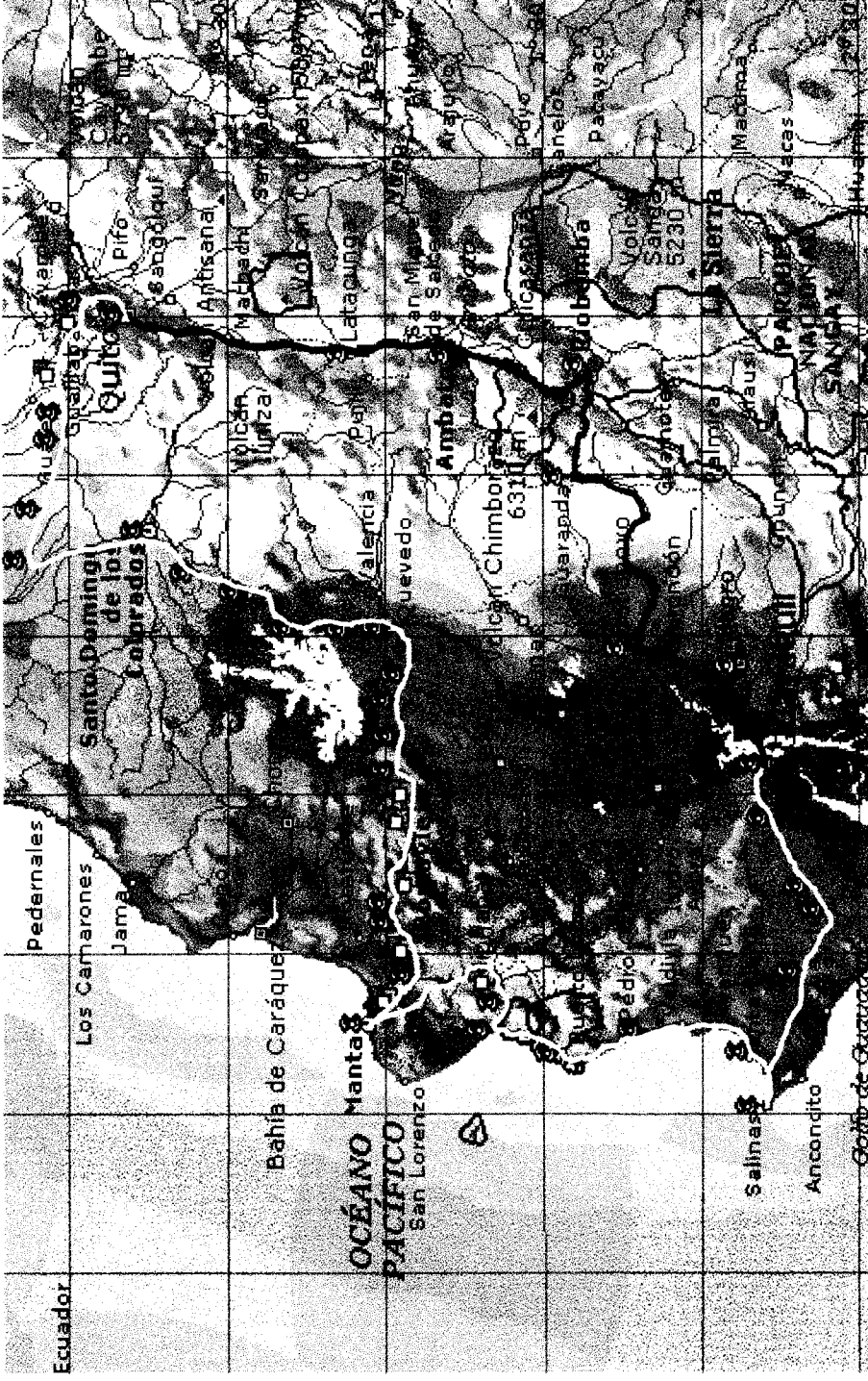


Ruta Quedo-Santo Domingo





Ruta Costa Completa: Guayaquil-Salinas-Puerto López-Manta-Las Delicias-Quevedo-Santo Domingo-Quito



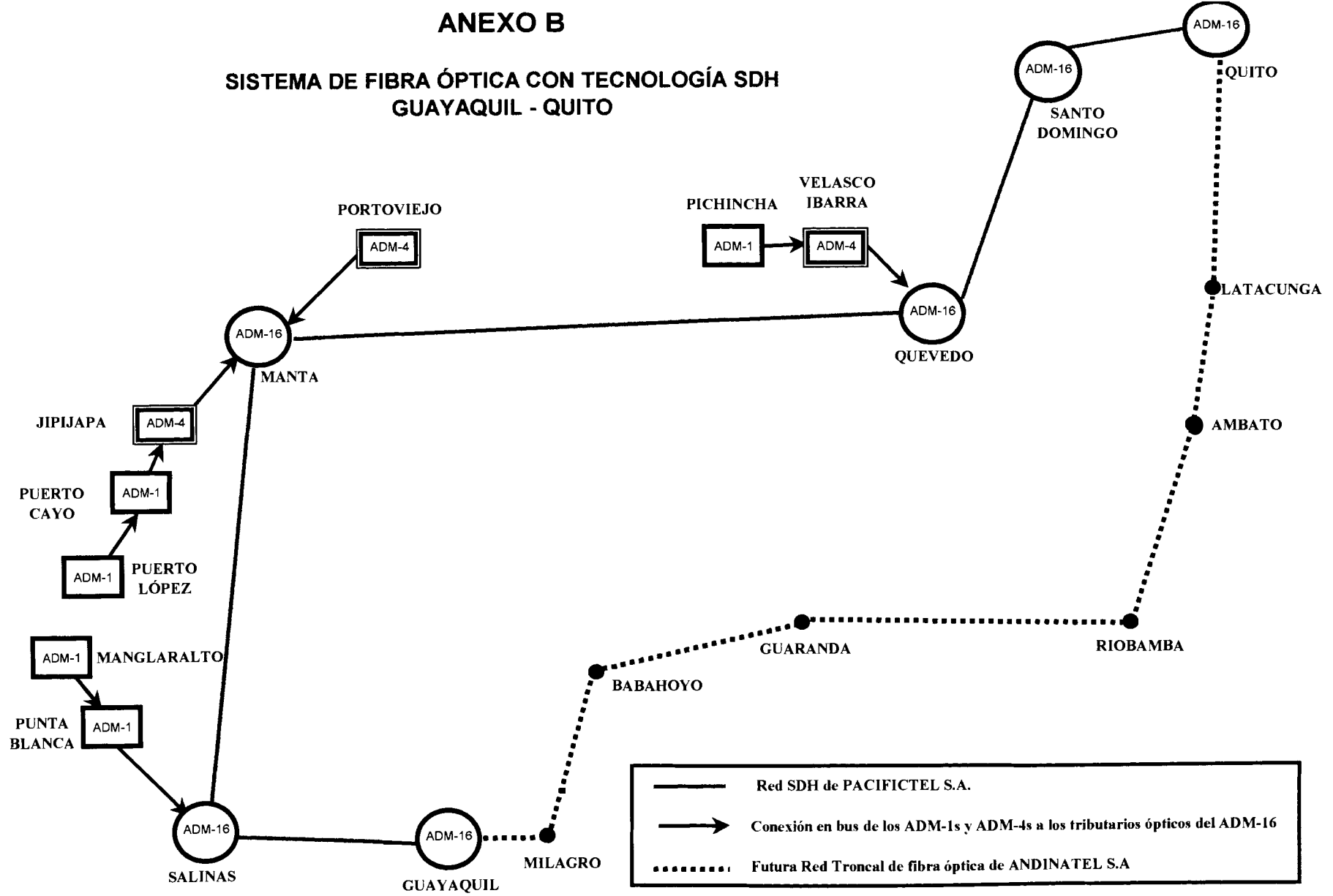
Anillo Completo: Red Troncal de Pacifictel (Guayaquil-Quito) y Red Troncal de Andinatel (Quito-Guayaquil)

ANEXO B

**Sistema de fibra óptica con
tecnología SDH
Guayaquil - Quito**

ANEXO B

SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA SDH GUAYAQUIL - QUITO

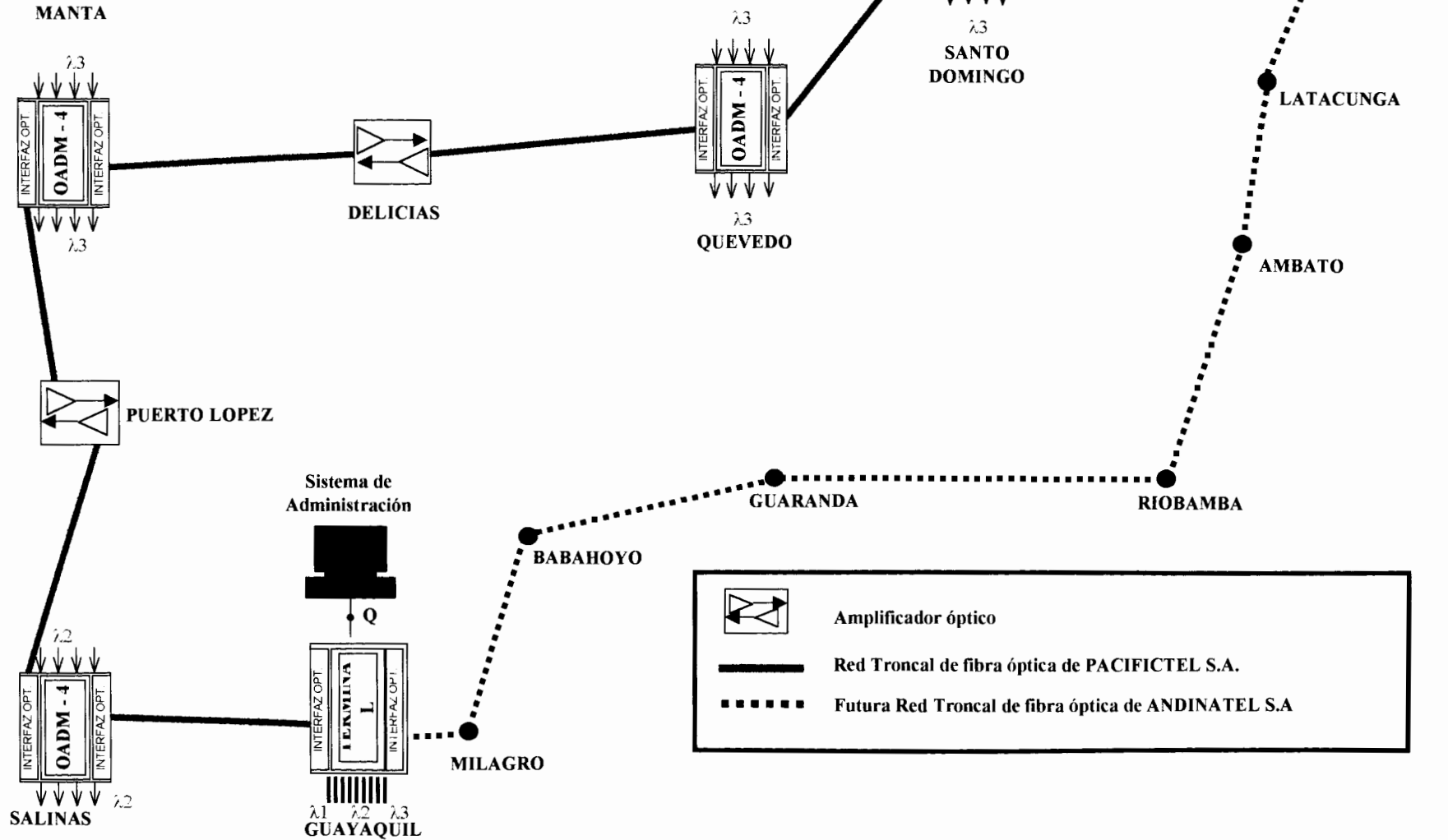


ANEXO C

**Sistema de fibra óptica con
tecnología DWDM
Guayaquil - Quito**

ANEXO C

SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA DWDM GUAYAQUIL - QUITO



ANEXO D

**Recomendación
UIT-T G.655**

RECOMENDACIÓN UIT-T G.655

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO CON DISPERSIÓN DESPLAZADA NO NULA

1 Alcance

En esta Recomendación se describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) tiene que ser mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de la utilización prevista. Esta dispersión suprime el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas, que puede ser particularmente perjudicial en una multiplexación por división de longitud de onda (WDM, wavelength-division multiplexing) densa.

La fibra está optimizada para uso en una región prescrita entre 1500 nm y 1600 nm. Sus parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen más adelante.

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 se indican en la Recomendación G.650. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros pertinentes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, serán perfeccionadas a medida que avancen los estudios y se adquiera más 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.

- Recomendación UIT-T G.650 (1993), Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.
- Recomendación UIT-T G.652 (1993), Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- Recomendación UIT-T G.653 (1993), Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.
- Recomendación UIT-T G.654 (1993), Características de los cables de fibra óptica monomodo con pérdida minimizada a una longitud de onda de 1550 nm.
- Recomendación UIT-T G.663 (1996), Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.

3 Términos y definiciones

A los fines de esta Recomendación se aplican las definiciones de la Recomendación G.650.

4 Abreviaturas

A los fines de esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas:

GPa Gigapascal

SDH Jerarquía digital síncrona (synchronous digital hierarchy)

WDM Multiplexación por división de longitud de onda (wavelength division multiplexing)

5 Características de la fibra

En la cláusula 5 se recomiendan solamente aquellas características de la fibra que proporcionan un marco mínimo esencial de diseño para los fabricantes. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra en cable puede ser afectada significativamente por la fabricación o la instalación. En todos los demás casos, las características recomendadas se aplicarán por igual a fibras individuales, fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor, y fibras en un cable instalado.

5.1 Diámetro del campo modal

El diámetro del campo modal m . Para un determinado λ_m a 11 μm nominal estará comprendido en la gama de 8 diámetro del campo modal nominal, la desviación del campo modal con respecto al valor nominal no debe rebasar los límites de $\pm 10\%$.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es $1,25 \mu\text{m}$. La desviación del diámetro del revestimiento con respecto al valor nominal no debe rebasar los límites de $\pm 2 \mu\text{m}$.

Para ciertas técnicas de empalme y requisitos de pérdida en los empalmes pueden ser apropiadas otras tolerancias.

5.3 Error de concentricidad del campo modal

El valor recomendado del error de concentricidad del campo modal a 1550 nm no debe ser superior a $1 \mu\text{m}$.

NOTA – Se ha observado una correspondencia biunívoca con la concentricidad a otras longitudes de onda, incluida la de la luz blanca.

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

Se ha observado en la práctica que la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales circulares nominales es lo suficientemente baja para que la propagación y los empalmes no sean afectados. Por lo tanto, no se considera necesario recomendar un determinado valor para la no circularidad del campo modal. Normalmente, no es necesario medir la no circularidad del campo modal para fines de aceptación.

5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe ser superior al 2%. Para ciertas técnicas de emplace y requisitos de pérdida en los empalmes pueden ser apropiadas otras tolerancias.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitud 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 de conexión, λ_{cj} .

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de los cables submarinos pueden requerirse otros valores de longitud de onda de corte del cable.

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} , y λ_{cj} depende del diseño concreto de la fibra y del cable, y de las condiciones de prueba. Si bien en general $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa general. Es de capital importancia asegurar la transmisión monomodal en la mínima longitud de cable entre empalmes, a la mínima longitud de onda de trabajo. Esto puede conseguirse recomendando que el valor máximo de la longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} , de una fibra monomodo en cable sea de 1480 nm, o, para cables de conexión típicos, recomendando que la longitud de onda de corte del cable de conexión sea de 1480 nm, o para la longitud y las flexiones del caso más desfavorable, recomendando que el valor máximo de la longitud de onda de corte de la fibra sea de 1470 nm.

5.6 Característica de pérdida por flexión a 1550 nm

El aumento de la pérdida para 100 vueltas de una fibra enrollada holgadamente con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm no será superior a 0,5 dB.

Para aplicaciones SDH y WDM, la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores a 1550 nm. La pérdida máxima de 0,5 dB se aplicará a la máxima longitud de onda de la utilización prevista (es decir, a longitudes de onda iguales o inferiores a 1580 nm). La pérdida a esta longitud de onda puede proyectarse a partir de una medición de la pérdida a 1550 nm utilizando un modelado de pérdida espectral o una base de datos estadísticos para

ese diseño particular de fibra. Como otra solución, se puede efectuar una prueba de calificación a la longitud de onda mayor.

NOTA 1 – Una prueba de calificación puede ser suficiente para asegurar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El mencionado valor de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas que se emplean en todos los casos de empalmes de un tramo de repetidor típico. El radio de 37,5 mm es equivalente al radio de flexión mínimo ampliamente aceptado para empleo a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas realizadas en la práctica para evitar los fallos debidos a la fatiga estática.

NOTA 3 – Si por razones prácticas se opta por utilizar menos de 100 vueltas para aplicar esta prueba con un radio de 37,5 mm, se aconseja utilizar no menos de 40 vueltas y un aumento de la pérdida proporcionalmente menor.

NOTA 4 – Si se proyecta utilizar radios de flexión de menos de 37,5 mm en casos de empalme o en cualquier otro lugar del sistema (por ejemplo, $R = 30$ mm), se aconseja aplicar el mismo valor de pérdida de 0,5 dB a 100 vueltas de fibra empleadas con este radio menor.

NOTA 5 – La recomendación sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se relaciona con el empleo de fibras en instalaciones de fibra monomodo en la práctica. La influencia de los radios de flexión, relacionados con el trenzado, de las fibras monomodo en cable, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra en cable.

NOTA 6 – Cuando se requieran pruebas periódicas, puede utilizarse un bucle de menor diámetro con una o varias vueltas, en lugar de las 100 vueltas, para obtener una mayor exactitud y facilidad de medición de la sensibilidad de la flexión a 1550 nm. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la pérdida máxima admisible por flexión para la prueba con varias vueltas deberán elegirse de modo que estén correlacionados con la recomendación de una pérdida de 0,5 dB para la prueba funcional con 100 vueltas y un radio de 37,5 mm.

5.7 Propiedades de la fibra relacionadas con los materiales

5.7.1 Materiales de la fibra

Deberán indicarse las sustancias de que se componen las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado en el caso del empalme por fusión de fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales indican que pueden obtenerse valores adecuados de pérdida en el emplazamiento y de resistencia mecánica cuando se empalman diferentes fibras de alto sílice.

5.7.2 Materiales protectores

Deberán indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de fibra cubierta por una sola camisa protectora deberán darse las mismas indicaciones.

5.7.3 Nivel de esfuerzo mecánico para la prueba

El esfuerzo mecánico para la prueba, σ_p , especificado será por lo menos de 0,35 GPa, lo que corresponde a un esfuerzo mecánico porcentual para la prueba de aproximadamente 0,5%. A menudo, para el esfuerzo mecánico para la prueba se especifica un valor de 0,69 GPa.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos se indican en 1.2/G.650 y 2.6/G.650.

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

En estudio.

NOTA – A una determinada longitud de onda, el valor absoluto local del coeficiente de dispersión puede variar y diferir del valor medido en un tramo largo. Si este valor se reduce a un valor pequeño a una longitud de onda que está próxima a una longitud de onda de trabajo en un sistema WDM, el efecto denominado mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia en otras longitudes de onda, incluidas otras longitudes de onda de trabajo, pero sin que estén excluidas otras longitudes de onda. La magnitud de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión, la pendiente de la dispersión, las longitudes de onda de trabajo, la potencia óptica, y la distancia a lo largo de la cual se produce la mezcla de cuatro ondas.

6 Especificaciones de los largos de fábrica

Como las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 1 apenas son afectadas por el proceso de cableado, en la cláusula 6 se hacen directrices te directrices te aplicables a las características de transmisión de los largos de cable en fábrica.

Las condiciones ambientales y de prueba son importantísimas y se describen en las directrices para los métodos de prueba.

6.1 Coeficiente de atenuación

Los cables de fibra óptica especificados en esta Recomendación generalmente tienen coeficientes de atenuación inferiores a 0,35 dB/Km en la región de 1550 nm.

NOTA – Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, la composición y el diseño de la fibra, y el diseño del cable. Se han alcanzado valores en la gama de 0,19-0,25 dB/Km en la región de 1550 nm.

6.2 Coeficiente de dispersión cromática

El coeficiente de dispersión cromática D cumplirá lo siguiente:

$$D_{\text{mín}} \leq |D(\lambda)| \leq D_{\text{máx}} \text{ para } \lambda_{\text{mín}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{máx}}$$

NOTA 1 – Están en estudio valores de $\lambda_{\text{mín}}$, $\lambda_{\text{máx}}$, $D_{\text{mín}}$, y $D_{\text{máx}}$, pero pueden especificarse para satisfacer las exigencias de un sistema WDM a condición de que:

$$6,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km} \leq D_{\text{máx}} \leq D_{\text{mín}} \leq 0,1 \text{ ps/nm}\cdot\text{km} \text{ y } 1530 \text{ nm} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{máx}} \leq 1565 \text{ nm}$$

NOTA 2 – $D_{\text{mín}}$ no se produce necesariamente a $\lambda_{\text{mín}}$ y $D_{\text{máx}}$ no se produce necesariamente a $\lambda_{\text{máx}}$.

NOTA 3 – La uniformidad de la dispersión debe estar de acuerdo con el funcionamiento del sistema.

NOTA 4 – 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 5 – Según el diseño del sistema y el tipo de transmisión, puede ser necesario especificar el signo de D .

NOTA 6 – Los requisitos sobre la dispersión se basan en el diseño del sistema WDM, que debe equilibrar la dispersión de primer orden con diversos efectos no lineales tales como la mezcla de cuatro ondas, modulación de fase cruzada, inestabilidad de la modulación, esparcimiento Brillouin estimulado, y formación de solitones (véase la Recomendación G.663).

NOTA 7 – No es necesario efectuar mediciones periódicas del coeficiente de dispersión cromática.

6.3 Dispersión por modo de polarización

En estudio.

NOTA – Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación generalmente tienen un coeficiente de dispersión por modo de polarización inferior a $0,5 \text{ ps/Km}^{1/2}$. Esto corresponde a una distancia de transmisión limitada por PMD (penalidad de 1 dB) de aproximadamente 400 Km para sistemas STM-64.

Los sistemas que tienen productos más bajos de distancia \times velocidad binaria pueden tolerar valores más altos de coeficiente PMD sin degradación.

7 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable generalmente está formada por cierto número de largos de fábrica empalmados. Los requisitos que deben cumplir los largos de fábrica se indican en la cláusula 6. Los parámetros de transmisión para secciones elementales de cable tienen que tomar en consideración no sólo la calidad de funcionamiento de las longitudes de cable individual, sino también otros factores tales como las pérdidas en los empalmes y en los conectores (si son aplicables).

Además, las características de transmisión de las fibras en los largos de fábrica, así como elementos tales como los empalmes, conectores, etc., tendrán una cierta distribución de probabilidad que a menudo se debe tener en cuenta si se pretende obtener los diseños más económicos. Los siguientes apartados de esta sección deben leerse teniendo en mente esta naturaleza estadística de los diversos parámetros.

7.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

donde:

α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra en la sección elemental de cable

L_n = longitud de la n -ésima fibra

m = número total de fibras concatenadas en la sección elemental de cable

α_s = pérdida media en el empalme

χ = número de empalmes en la sección elemental de cable

α_c = pérdida media de los conectores de línea

y = número de conectores en la sección elemental de cable (si se proporciona).

Deberá preverse un margen adecuado para tener en cuenta las futuras modificaciones de las configuraciones de los cables (empalmes adicionales, un mayor número de largos de cable, efectos del envejecimiento, variaciones de la temperatura, etc.). La ecuación anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipo.

Para la pérdida de los empalmes y conectores se toma la pérdida media. En el balance de atenuación utilizado para el diseño de un sistema real se deben tener en cuenta las variaciones estadísticas de estos parámetros.

7.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática en ps. puede calcularse a partir de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fábrica, suponiendo una dependencia lineal en función de la longitud, y teniendo debidamente en cuenta los signos de los coeficientes y las características de la fuente del sistema (véase 6.2).

ANEXO E

**Recomendación
UIT-T G.692**

RECOMENDACIÓN UIT-T G.692

INTERFACES ÓPTICAS PARA SISTEMAS MULTICANALES CON AMPLIFICADORES ÓPTICOS

(Ginebra, 1998)

1 Alcance

Esta Recomendación se aplica a las interfaces ópticas de los sistemas de línea ópticos digitales con amplificadores ópticos para aplicaciones terrestres de larga distancia. Esta Recomendación define y proporciona valores para los parámetros de las interfaces ópticas de sistemas entre centrales y de larga distancia con un objetivo de distancia de 160 km sin amplificadores de línea y con un objetivo de distancia de 640 km con amplificadores de línea. La nueva Recomendación G.681 describe las configuraciones de referencia de los sistemas y de sus bloques funcionales.

El objetivo de esta Recomendación es proporcionar especificaciones de los amplificadores ópticos para sistemas SDH y para equipos de amplificadores ópticos a fin de conseguir sistemas multicanal con compatibilidad transversal. En la etapa actual de desarrollo no ha sido posible finalizar todas las especificaciones necesarias para conseguir sistemas con una compatibilidad transversal total. No obstante, la versión inicial de esta Recomendación ha sido publicada debido al interés de la industria y a la aparición de las primeras realizaciones de estos sistemas. El desarrollo de una especificación completa queda pendiente de versiones ulteriores de esta Recomendación.

Esta Recomendación se aplica principalmente a sistemas multicanales punto a punto. No se han considerado aspectos específicos de sistemas ópticos de extracción e inserción.

Esta Recomendación pretende describir sistemas de línea ópticos con las características siguientes:

- número máximo de canales: 4, 8, 16, 32 o más;
- tipos de señales: STM-4, STM-16 y STM-64;
- transmisión sobre una única fibra: unidireccional o bidireccional.

En función de la evolución de la tecnología y de los mercados, algunas de las características antes descritas no han quedado totalmente caracterizadas y quedan en estudio. Algunos aspectos de sistemas de 16 y 32 canales, STM-64 y posiblemente la transmisión bidireccional, quedan en estudio. Algunos aspectos de los sistemas relativos a la transmisión bidireccional (apéndice VII) y la transmisión de 16 y de 32 canales (apéndice VIII) y la transmisión de STM-64 (apéndice IX), están incluidos en los apéndices indicados.

Esta Recomendación se ha elaborado en base a la experiencia existente con amplificadores de fibra óptica de silicio dopado con erbio [EDFA, *erbium-doped (silica-based fibre) amplifiers*] trabajando en la región de longitud de onda de 1550 nm. Esta Recomendación no excluye la incorporación futura de nuevos amplificadores ópticos que trabajen en regiones de longitud de onda diferentes, incluida la región de 1310 nm.

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.

- Recomendación UIT-T G.652 (1997), *Características de un cable de fibra óptica monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.653 (1997), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.*
- Recomendación UIT-T G.655 (1996), *Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión no nula.*
- Recomendación UIT-T G.661 (1998), *Definición y métodos de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los dispositivos y subsistemas amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.662 (1998), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.663 (1996), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.671 (1996), *Características de transmisión de los componentes ópticos pasivos.*
- Recomendación UIT-T G.681 (1996), *Características funcionales de los sistemas de línea intercentrales y de larga distancia que utilizan amplificadores ópticos, incluida la multiplexación óptica.*
- Recomendación UIT-T G.707 (1996), *Interfaz de nodo de la red para la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.783 (1997), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.955 (1996), *Sistemas de línea digital basados en las jerarquías de 1544 kbit/s y 2048 kbit/s en cables de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1995), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona.*
- Publicación 60825-1 de la CEI (1993), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.*
- (4- Publicación 61291-4 de la CEI Ed.1.0 (trabajo en curso), *Performance specification template on optical amplifiers – Part 4: Optical fibre amplifiers for multichannel applications.*

3 Terminología

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 Canal de Supervisión Óptico (OSC, *optical supervisory channel*): Un canal al que se accede en cada amplificador óptico de la línea que se utiliza con fines de mantenimiento incluida (pero no limitado a) la información de alarmas en ubicaciones distantes, las comunicaciones necesarias para la localización de fallos y el canal de órdenes. El canal de supervisión óptico no se utiliza para transportar tráfico real.

(4-4) Trayecto (óptico) principal: Planta de fibra entre el punto MPI-S del equipo transmisor y el punto MPI-R del equipo receptor. El trayecto principal no incluye ningún trayecto auxiliar.

(4-5) Interfaces de trayecto principal: Interfaces con la planta de fibra especificada en esta Recomendación.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

AFR	Referencia absoluta de frecuencia (<i>absolute frequency reference</i>)
ASE	Emisión espontánea amplificada (<i>amplified spontaneous emission</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit-error ratio</i>)
EDFA	Amplificador de fibra con dopaje de erbio (<i>erbium-doped fibre amplifier</i>)
FWM	Mezcla de cuatro ondas (<i>four-wave mixing</i>)
MPI	Interferencia de trayectos múltiples (<i>multiple path interference</i>)
MPI-R	Interfaz del trayecto principal en el receptor (<i>main path interface at the receiver</i>)
MPI-S	Interfaz del trayecto principal en el transmisor (<i>main path interface at the transmitter</i>)
NF	Figura de ruido (<i>noise figure</i>)
OA	Amplificador óptico (<i>optical amplifier</i>)
OD	Demultiplexor óptico (<i>optical demultiplexer</i>)
OEO	Convertidor eléctrico-óptico-eléctrico (<i>optical-electrical-optical converter</i>)
OM	Multiplexor óptico (<i>optical multiplexer</i>)
OSC	Canal de supervisión óptico (<i>optical supervisory channel</i>)
OSNR	Relación señal a ruido óptica (<i>optical signal-to-noise ratio</i>)
PMD	Dispersión del modo de polarización (<i>polarisation mode dispersion</i>)
RX	Receptor óptico (<i>optical receiver</i>)
SBS	Dispersión de Brillouin estimulada (<i>stimulated Brillouin scattering</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)

SNR	Relación señal a ruido (<i>signal-to-noise ratio</i>)
SPM	Modulación de autofase (<i>self phase modulation</i>)
STM-N	Módulo de transporte síncrono de nivel N (<i>synchronous transport module level N</i>)
TX	Transmisor óptico (<i>optical transmitter</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)
XPM	Modulación de fase cruzada (<i>cross-phase modulation</i>)

5 Clasificación de las interfaces ópticas

5.1 Aplicaciones

Esta Recomendación trata de sistemas multicanales para aplicaciones terrestres de larga distancia con una distancia objetivo total y separación discreta de amplificadores tal como se describe en los párrafos siguientes.

5.1.1 Códigos de aplicación para sistemas sin amplificadores de línea

Estas aplicaciones constan de 4, 8 ó 16 canales ópticos que se multiplexan ópticamente. Cada canal puede ser un sistema STM-4 o STM-16, incluyendo una combinación simultánea de canales de distinta velocidad binaria. Las distancia objetivo de estos sistemas es de 80 km, 120 km y 160 km sobre fibras G.652, G.653 y G.655. Los códigos de aplicación con fibra G.653 quedan en estudio. Los códigos de aplicación para sistemas sin amplificadores de línea se resumen en el cuadro 1.

Los códigos de aplicación del cuadro 1 se han construido como sigue:

- $nW_{x-y.z}$

donde, para cada código de aplicación:

- n es el número máximo de longitudes de onda.
- W es una letra que indica la longitud del vano, siendo:
 - L indica larga distancia;
 - V indica muy larga distancia;
 - U indica distancia ultra larga.
- x es el número máximo de vanos permitidos para el código de aplicación ($x = 1$ para sistemas sin amplificadores de línea. En este caso se omite).
- y es la velocidad binaria máxima (nivel STM) de las señales.
- z es el tipo de fibra, siendo:
 - 2 indica fibra del tipo G.652.
 - 3 indica fibra del tipo G.653.
 - 5 indica fibra del tipo G.655.

Un sistema bidireccional se indica mediante la adición de la letra B delante del código de aplicación:

- B-nWx-y.z

Cuadro 1/G.692 – Códigos de aplicación para sistemas multicanal sin amplificadores de línea

Aplicación	larga distancia (distancia objetivo 80 km)	muy larga distancia (distancia objetivo 120 km)	Distancia ultra larga (distancia objetivo 160 km)
sistemas de 4 canales	4L-y.z	4V-y.z	4U-y.z
sistemas de 8 canales	8L-y.z	8V-y.z	8U-y.z
sistemas de 16 canales	16L-y.z	16V-y.z	16U-y.z ^{d)}
a) Las distancias objetivo se utilizan sólo a efectos de clasificación y no para la especificación.			
b) y = 4 ó 16.			
c) z = 2, 3 ó 5.			
d) La viabilidad de esta aplicación queda en estudio.			

5.1.2 Códigos de aplicación para sistemas con amplificadores de línea

Estas aplicaciones constan también de 4, 8 ó 16 canales ópticos que se multiplexan ópticamente. La separaciones objetivo entre los amplificadores ópticos de línea es nominalmente de 80 km y 120 km, siendo la distancia total a partir de la cual se necesita regeneración de 360 km a 640 km cuando se utilizan fibras G.652, G.653 y G.655. A fin de limitar las posibles combinaciones de estas distancias, éstas se reducen a las aplicaciones que se muestran en el cuadro 2.

Los códigos de aplicación para sistemas con amplificadores de línea se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 2/G.692 – Códigos de aplicación para sistemas multicanal con amplificadores de línea

Aplicación	Vanos de larga distancia (distancia objetivo 80 km)		Vanos de muy larga distancia (distancia objetivo 120 km)	
	5	8	3	5
Número de vanos				
sistemas de 4 canales	4L5-y.z	4L8-y.z	4V3-y.z	4V5-y.z
sistemas de 8 canales	8L5-y.z	8L8-y.z	8V3-y.z	8V5-y.z ^{a)}
sistemas de 16 canales	16L5-y.z	16L8-y.z	16V3-y.z	16V5-y.z ^{a)}
a) La viabilidad de este código de aplicación queda en estudio.				
b) Las distancias objetivo se utilizan sólo a efectos de clasificación y no para especificación.				
c) y = 4 ó 16.				
d) z = 2, 3 ó 5.				

Los sistemas del tipo nL5 y nV3 no son subconjuntos de los sistemas nL8 y nV5 respectivamente, ya que los sistemas nL8 y nV5 requieren distintas tecnologías (incluido amplificadores ópticos de bajo ruido y requisitos más estrictos de dispersión), lo cual puede constituir un reto significativamente mayor y puede no conseguirse para todo tipo de fibras.

Los códigos de aplicación se basan en velocidades binarias de canal de hasta un STM-16 por canal. Para sistemas con velocidades binarias superiores, tal como STM-64, será necesario evaluar de nuevo los códigos de aplicación. Los valores exactos quedan en estudio.

Debe señalarse que, por ejemplo, un sistema de 4 canales no puede potenciarse a un sistema de 8 canales. Esta opción sólo existe en sistemas de 8 canales subequipados. Ello significa que si una entidad de explotación u operador elige la opción de potenciar un sistema de 4 canales, por ejemplo, a un sistema a 8 canales, no sólo tiene que determinar cual debe ser la desviación de frecuencia central en línea con un sistema de 8 canales, sino también el resto de parámetros relevantes.

5.2 Implementación

5.2.1 Configuraciones de referencia

La figura 1 ilustra la configuración de referencia para un sistema G.692 con un número n de canales, con los siguientes los puntos de referencia:

- $S_1 \dots S_n$ son los puntos de referencia sobre la fibra óptica a la salida de los conectores ópticos de los transmisores de los canales 1... n respectivamente.
- $R_{M1} \dots R_{Mn}$ son los puntos de referencia sobre la fibra óptica justamente antes de los conectores ópticos de entrada OM/OA de los canales 1... n respectivamente.
- MPI-S es un punto de referencia sobre la fibra óptica inmediatamente a continuación de los conectores ópticos de salida OM/OA.
- S' es un punto de referencia inmediatamente a continuación del conector óptico de salida OA de línea
- R' es un punto de referencia inmediatamente anterior al conector óptico de entrada OA de línea.
- MPI-R es un punto de referencia sobre la fibra óptica inmediatamente anterior al conector óptico de entrada OA/OD.
- $S_{D1} \dots S_{Dn}$ son los puntos de referencia en los conectores ópticos de salida OA/OD.
- $R_1 \dots R_n$ son los puntos de referencia a la entrada de los conectores ópticos del receptor.

Los sistemas del tipo nL5 y nV3 no son subconjuntos de los sistemas nL8 y nV5 respectivamente, ya que los sistemas nL8 y nV5 requieren distintas tecnologías (incluido amplificadores ópticos de bajo ruido y requisitos más estrictos de dispersión), lo cual puede constituir un reto significativamente mayor y puede no conseguirse para todo tipo de fibras.

Los códigos de aplicación se basan en velocidades binarias de canal de hasta un STM-16 por canal. Para sistemas con velocidades binarias superiores, tal como STM-64, será necesario evaluar de nuevo los códigos de aplicación. Los valores exactos quedan en estudio.

Debe señalarse que, por ejemplo, un sistema de 4 canales no puede potenciarse a un sistema de 8 canales. Esta opción sólo existe en sistemas de 8 canales subequipados. Ello significa que si una entidad de explotación u operador elige la opción de potenciar un sistema de 4 canales, por ejemplo, a un sistema a 8 canales, no sólo tiene que determinar cual debe ser la desviación de frecuencia central en línea con un sistema de 8 canales, sino también el resto de parámetros relevantes.

5.2 Implementación

5.2.1 Configuraciones de referencia

La figura 1 ilustra la configuración de referencia para un sistema G.692 con un número n de canales, con los siguientes los puntos de referencia:

- $S_1 \dots S_n$ son los puntos de referencia sobre la fibra óptica a la salida de los conectores ópticos de los transmisores de los canales 1... n respectivamente.
- $R_{M1} \dots R_{Mn}$ son los puntos de referencia sobre la fibra óptica justamente antes de los conectores ópticos de entrada OM/OA de los canales 1... n respectivamente.
- MPI-S es un punto de referencia sobre la fibra óptica inmediatamente a continuación de los conectores ópticos de salida OM/OA.
- S' es un punto de referencia inmediatamente a continuación del conector óptico de salida OA de línea
- R' es un punto de referencia inmediatamente anterior al conector óptico de entrada OA de línea.
- MPI-R es un punto de referencia sobre la fibra óptica inmediatamente anterior al conector óptico de entrada OA/OD.
- $S_{D1} \dots S_{Dn}$ son los puntos de referencia en los conectores ópticos de salida OA/OD.
- $R_1 \dots R_n$ son los puntos de referencia a la entrada de los conectores ópticos del receptor.

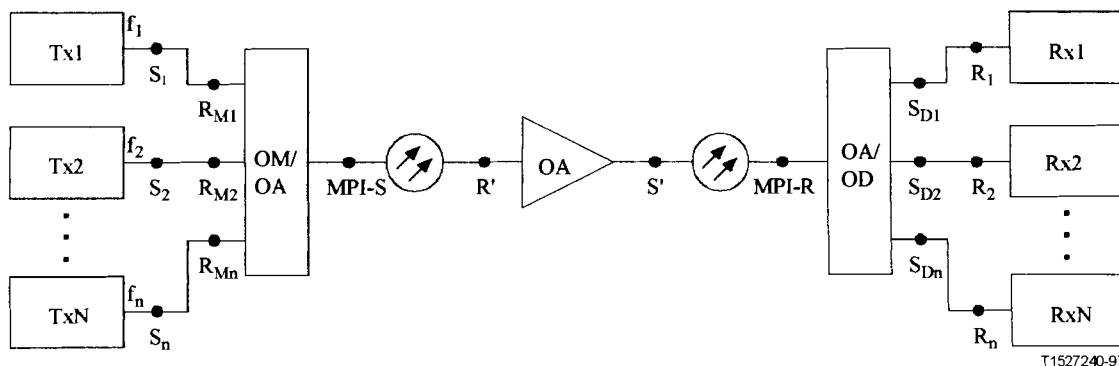


Figura 1/G.692 – Representación de las interfaces de un sistema de línea óptico

NOTA 1 – La atenuación de la híbrida del OSC utilizada posiblemente para acceder al OSC no debe considerarse en el presupuesto de potencia del trayecto óptico.

NOTA 2 – Cuando se utiliza una combinación de transmisor del tipo G.957 y de respondedor óptico, tal como se muestra en la figura 2 con el fin de implementar un transmisor óptico G.692, los puntos de referencia S_n , que se definen en esta Recomendación se sitúan inmediatamente después de los conectores ópticos de salida del respondedor óptico. En este caso, la interfaz entre el transmisor del tipo G.957 y el respondedor se elige de forma adecuada a partir de las especificaciones del punto S de la Recomendación G.957.

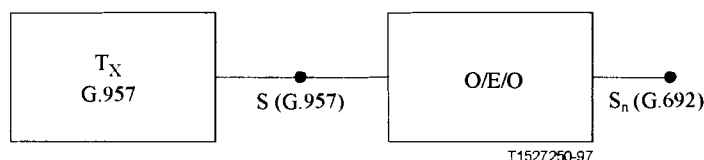


Figura 2/G.692 – Posible implementación de un transmisor G.692 utilizando un transmisor G.957 y un respondedor

La presente Recomendación especifica la posibilidad de que exista atenuación entre los puntos de referencia S_n y R_{Mn} . El valor mínimo de dicha atenuación es 0. Igualmente, puede existir una pérdida entre los puntos S_{Dn} y R_n . También es posible que los OM/OA y/o los OA/OD no incluyan un OA. Además, existe la posibilidad de que los transmisores y los OM/OA (e igualmente los OA/OD y los receptores) estén integrados; en este caso, no habrá acceso a las interfaces en los puntos de referencia S_n , R_{Mn} , S_{Dn} y R_n .

5.2.2 Implementaciones del canal de supervisión óptico

Los sistemas de línea óptica descritos en esta Recomendación que utilizan amplificadores de línea precisan de un canal de supervisión (OSC) adicional. Este canal debe poder ser accedido en cada amplificador. En los amplificadores de línea óptica realizados mediante la tecnología de amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFA), el canal de supervisión óptico puede situarse fuera de la anchura de banda de ganancia utilizable del EDFA ("OSC fuera de banda") o dentro de la anchura de banda de ganancia utilizable del EDFA ("OSC dentro de banda").

Existen soluciones transaccionales para cada una de estas opciones. En la subcláusula B.3 se indica la opción de OSC dentro de banda.

La longitud de onda nominal preferida del canal de supervisión óptico fuera de banda es 1510 nm. Actualmente, los componentes para la longitud de onda de 1510 nm (por ejemplo, diodos láser, filtros, etc.) son de disponibilidad limitada. Hasta que dichos componentes alcancen su madurez y están ampliamente disponibles, pueden utilizarse las longitudes de onda alternativas de 1480 nm o una longitud de onda en la banda de 1310 nm. En las subcláusulas B.1 y B.2 se indican estos OSC alternativos.

La selección de la banda de 1310 nm puede impedir la utilización de dicha anchura de banda para tráfico alternativo. Dos amplificadores que funcionen con un OSC de diferente longitud de onda no serán, en general, compatibles transversalmente.

6 Definición de parámetros

Se enumeran a continuación los parámetros aplicables a la presente Recomendación. Muchos de ellos se definen en la Recomendación G.957 y en esos casos en la definición se hace una referencia a dicha Recomendación. Se incluye información adicional a de las definiciones de la Recomendación G.957 sobre los sistemas multicanal.

Los parámetros definidos en las subcláusulas 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3 y 6.8.3 son suficientes para definir sistemas multicanales con compatibilidad transversal para cada tipo de fibra óptica (G.652, G.653, G.655) y para los códigos de aplicación considerados en la presente Recomendación. Sin embargo, y de acuerdo con el propósito de esta Recomendación, todos los parámetros que se definen en la cláusula 6 deben de dar lugar a sistemas compatibles transversalmente.

6.1 Salidas de los transmisores

Estos parámetros se aplican a la salida de los transmisores de cada canal correspondientes a los puntos S_n de las figuras 1 y 2.

6.1.1 Características espectrales

Las características espectrales incluyen una anchura máxima de -20 dB y una mínima relación de supresión de modos laterales definida en la Recomendación G.957.

6.1.2 Potencia inyectada media

En la Recomendación G.957 se especifican los valores máximo y mínimo de la potencia inyectada media.

6.1.3 Relación de extinción

La relación de extinción se define en la Recomendación G.957.

6.1.4 Plantilla del diagrama en ojo

Queda en estudio.

6.1.5 Frecuencia central

Para separaciones de canales de 50 GHz en una fibra, las frecuencias de canal permitidas se basan en una rejilla de 50 GHz con una frecuencia de referencia de 193,10 THz. Para separaciones de canales de 100 GHz o más en una fibra, las frecuencias de canal permitidas se basan en una rejilla de 100 GHz con una frecuencia de referencia de 193,10 THz. En el anexo A se muestra el cuadro de las frecuencias de 50 y 100 GHz de la rejilla de la región de ganancia del EDFA. Los puntos extremos tienen una finalidad ilustrativa, no normativa.

En el cuadro III.1 del apéndice III se incluyen las posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones realizadas sobre fibras del tipo G.652/G.655.

En el cuadro IV.1 del apéndice IV se incluyen las posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones realizadas sobre fibras del tipo G.653.

6.1.6 Separación de canales

La separación de canales nominal es la diferencia entre las frecuencias de canales adyacentes. La separación entre canales puede ser regular o irregular. La separación irregular entre canales puede utilizarse para mitigar los efectos de la FWM en fibras de tipo G.653; en el apéndice V se presenta una metodología para la asignación de canales.

6.1.7 Desviación de la frecuencia central

La desviación de la frecuencia central se define como la diferencia entre la frecuencia central nominal y la frecuencia central real.

En la desviación de frecuencia central se encuentran todos los procesos que afectan al valor instantáneo de la frecuencia central de la fuente en un intervalo de medida apropiado a la velocidad binaria del canal. Estos procesos incluyen la velocidad de la fuente, la anchura de banda de la información, el ensanchamiento debido al SPM y efectos debidos a la temperatura y al envejecimiento.

El cuadro 3 proporciona los valores máximos de desviación de frecuencia central asociada con cada separación de canales.

Cuadro 3/G.692 – Desviación de la frecuencia central en función de la separación de los canales

Separación de canales GHz (n)	50	100	n ≥ 200
Desviación máxima de la frecuencia central ± GHz	En estudio	En estudio	n/5

En sistemas con separación irregular de canales, los canales que se encuentran en los límites entre diferentes distancias de canales, tendrán la desviación más restrictiva de ambas.

6.2 Puertos de entrada de canal

Estos parámetros se aplican a las entradas del OM/OA correspondiente a los puntos R_{Mn} de la figura 1.

6.3 Interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S'

Estos parámetros se aplican a las interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S' de la figura 1.

6.3.1 Diafonía óptica en el lado de transmisión

Queda en estudio.

6.3.2 Potencia de salida de canal

La potencia de salida de canal es la potencia óptica media inyectada de canal. Incluye el ruido de la emisión espontánea amplificada (ASE) en la banda del canal.

6.3.3 Potencia inyectada total

La potencia inyectada total es la potencia óptica media máxima inyectada en el punto MPI-S o en el punto S'.

6.3.4 Relación señal/ruido óptica de canal

Queda en estudio.

6.3.5 Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-S o en el punto S'

La diferencia máxima de la potencia de canal es la diferencia existente entre la mayor y la menor de las potencias inyectadas que están presentes de forma simultánea para una misma aplicación en una anchura de banda de resolución óptica determinada, independientemente del número de canales.

6.4 Trayecto óptico

Para garantizar la calidad de funcionamiento de todas las aplicaciones que se enumeran en el cuadro 1, es necesario especificar las características del trayecto óptico entre los puntos de referencia MPI-S y MPI-R, así como entre R' y S' respectivamente, tal como se muestra en la figura 1.

6.4.1 Atenuación

La atenuación se define en la Recomendación G.957. Las gamas de atenuación definidas para las distancias objetivo se basan en la hipótesis de una pérdida de la fibra instalada de 0,28 dB/km (incluidos los empalmes y el margen del cable) en la región de 1530-1565 nm. Esta atenuación de la fibra implica un valor de 11 dB para una distancia objetivo de 40 km. La gama de valores de atenuación para distancias múltiplos de 40 km son los correspondientes múltiplos de 11 dB. En la práctica, estos valores pueden no ser aplicables a todos los cables de fibra, en cuyo caso las distancias reales alcanzables pueden ser más cortas.

El cuadro 4 contiene la gama de valores de atenuación para sistemas sin amplificadores ópticos de línea. El cuadro 5 contiene los valores de atenuación para sistemas con amplificadores ópticos de línea.

Cuadro 4/G.692 – Gama de valores de atenuación para códigos de aplicación sin amplificadores ópticos de línea

Código de aplicación	nL-y.z	nV-y.z	nU-y.z
Gama de atenuación: – máxima – mínima	22 dB En estudio	33 dB En estudio	44 dB En estudio

Cuadro 5/G.692 – Gama de valores de atenuación para códigos de aplicación con amplificadores ópticos de línea

Código de aplicación	nLx-y.z	nVx-y.z
Gama de atenuación (entre los OA) – máxima – mínima	22 dB En estudio	33 dB En estudio

6.4.2 Dispersión

La dispersión incluye efectos de dispersión cromática, que se define en la Recomendación G.957, y dispersión del modo de polarización. Los límites de dispersión requeridos para distancias objetivo sobre fibras G.652 se basan en la hipótesis de 20 ps/(nm.km). Los límites de dispersión de la fibra G.655 quedan en estudio.

El cuadro 6 contiene la gama de valores de dispersión para sistemas sin amplificadores ópticos de línea y sistemas con amplificadores ópticos de línea en fibras G.652.

Cuadro 6/G.692 – Dispersión máxima para aplicaciones sobre fibra G.652

Código de aplicación	L	V	U	nV3-y.2	nL5-y.2	nV5-y.2	nL8-y.2
Dispersión máxima (ps/nm)	1600	2400	3200	7200	8000	12 000	12 800

NOTA – Para sistemas STM-16 y valores de dispersión superiores a 10 000 ps/nm, pueden ser necesarias técnicas de acomodación. La atenuación debida a dichas técnicas no está incluida en las gamas de atenuación especificadas en 6.4.1.

6.4.3 Reflexiones

Los parámetros de reflexión incluyen la pérdida de retorno óptico mínima y la reflectancia discreta máxima que se definen en la Recomendación G.957.

6.5 Parámetros de los amplificadores ópticos de línea

Estos parámetros sólo se aplican a sistemas con amplificadores de línea.

6.5.1 Variación de ganancia multicanal

Este parámetro se define en CEI 61291-4.

6.5.2 Desviación de ganancia multicanal

Este parámetro se define en CEI 61291-4.

6.5.3 Diferencia de cambio de ganancia multicanal

Este parámetro se define en CEI 61291-4.

6.5.4 Potencia recibida total

Este parámetro es la potencia de entrada media máxima en el punto R' de la figura 1.

6.5.5 Potencia inyectada total

Este parámetro es la potencia de entrada media máxima en el punto S' de la figura 1.

6.5.6 Figura de ruido espontáneo de la señal

Este parámetro se define en la Recomendación G.661.

6.6 Interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R'

Estos parámetros se aplican a las interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R' de la figura 1. Los valores máximos y mínimos de estos parámetros se especifican con independencia del número de canales presentes.

6.6.1 Potencia de entrada media de canal

La potencia de entrada media de canal es la potencia de entrada media de canal máxima y mínima medida en el punto MPI-R o en el punto R'.

6.6.2 Potencia total de entrada media

La potencia total de entrada media es la potencia total de entrada media máxima medida en el punto MPI-R o en el punto R'.

6.6.3 Relación señal/ruido óptica de canal

Queda en estudio.

6.6.4 Diafonía óptica en los puntos MPI-R y R'

Queda en estudio.

6.6.5 Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-R o el punto R'

La diferencia máxima de la potencia de canal es la diferencia entre los valores mayor y menor de la potencia de entrada de canal que, con independencia del número de canales de la aplicación, están presentes simultáneamente en una anchura de banda de resolución óptica determinada.



6.7 Puertos de salida de canal

Estos parámetros se aplican a las salidas del OA/OD correspondientes a los puntos S_{Dn} de la figura 1.

6.7.1 Diafonía óptica en los puertos de salida de canal

La diafonía óptica se define como la relación entre el nivel de potencia perjudicial total combinada debida a señales procedentes de los restantes canales, funcionando en condiciones específicas, y el nivel de potencia nominal de la señal deseada, medida en el punto de referencia de salida de cada canal $S_{D1} \dots S_{Dn}$, según se muestra en la figura 1, dentro de la anchura de banda resultante del demultiplexor óptico y del receptor óptico, expresada en dB.

6.8 Entrada de los el receptores

Los parámetros que se describen a continuación hacen referencia a la entrada de cada uno de los receptores y corresponden a los puntos R_n de la figura 1.

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 transmisor en condiciones de funcionamiento normalizado con los valores del caso más desfavorables de 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, el ruido del amplificador óptico y la tolerancia de las medidas. La sensibilidad del receptor no incluye la penalización de potencia asociada a la dispersión, a la fluctuación de fase o a las reflexiones del trayecto óptico; estos efectos se especifican por separado en la asignación de la máxima penalización del trayecto óptico. 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.

6.8.2 Sobrecarga del receptor

La sobrecarga del receptor es el valor máximo aceptable de la potencia media recibida en el punto R_n para un valor de BER de 1×10^{-12} .

6.8.3 Penalización del trayecto óptico

Por definir.

6.8.4 Reflectancia del receptor

La reflectancia del receptor se define en la Recomendación G.957.

6.8.5 Relación señal/ruido óptica

Es el valor mínimo de la relación señal/ruido para obtener una BER de 1×10^{-12} .

6.8.6 Gama de longitudes de onda del receptor

La gama de longitudes de onda del receptor se define como la gama aceptable de longitudes de onda en el punto R_n . Este gama debe ser lo suficientemente amplia como para cubrir toda la gama de frecuencias centrales en la banda de paso del amplificador óptico.

6.9 Parámetros del canal de supervisión óptico

6.9.1 Longitudes de onda del canal de supervisión óptico

La longitud de onda del canal de supervisión óptico es aquella en la que éste transmite. Su valor nominal es 1510 ± 10 nm ($198,5 \pm 1,4$ THz). En el anexo B se especifican otras longitudes de onda.

7 Valor de los parámetros de la interfaz óptica

El cuadro 7 identifica los parámetros que se requieren en las diversas interfaces (véase la figura 1) de un sistema de comunicación óptica a fin de garantizar la compatibilidad transversal. En principio, debe haber un cuadro para cada código de aplicación. Sin embargo, en la etapa actual de desarrollo de esta Recomendación, se ha elaborado un solo cuadro. En el cuadro 7 se enumeran las subcláusulas relevantes que describen las definiciones de dichos parámetros y los valores de los mismos. Si no se incluyen valores es porque éstos quedan en estudio.

Cuadro 7/G.692 – Cuadro de valores para las interfaces ópticas

Código de aplicación	Valor	Unidades	Nota (subcláusula)
Número de canales			5.1
Velocidad/formato de los canales			5.1
Salida de los transmisores			
Características espectrales			6.1.1
Potencia inyectada media		dBm	6.1.2
Relación de extinción			6.1.3
Plantilla del diagrama en ojo			6.1.4
Frecuencia central		GHz	6.1.5
Separación de canales		GHz	6.1.6
Desviación de la frecuencia central		GHz	6.1.7
Puertos de entrada de canal			6.2
NOTA – Estos parámetros quedan en estudio.			

Cuadro 7/G.692 – Cuadro de valores para las interfaces ópticas (*fin*)

Código de aplicación	Valor	Unidades	Nota (subcláusula)
Interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S'			
Diafonía óptica en el lado de transmisión		dB	6.3.1
Potencia de salida de canal		dBm	6.3.2
Potencia inyectada total máxima		dBm	6.3.3
Relación señal/ruido de canal		dB	6.3.4
Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-S o en el punto S'		dB	6.3.5
Amplificador de línea óptico			
Variación de ganancia		dB	6.5.1
Desviación de ganancia		dB/dB	6.5.2
Diferencia de ganancia		dB	6.5.3
Potencia recibida total máxima		dBm	6.5.4
Potencia inyectada total máxima		dBm	6.5.5
Figura de ruido espontáneo de la señal		dB	6.5.6
Trayecto óptico			
Atenuación		dB	6.4.1
Dispersión		ps/nm	6.4.2
Reflectancia discreta máxima		dB	6.4.3
Pérdida de retorno mínima		dB	6.4.3
Interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R'			
Potencia de entrada media de canal			6.6.1
– máxima		dBm	
– mínima		dBm	
Potencia total de entrada media			6.6.2
– máxima		dBm	
Relación señal/ruido de canal		dB	6.6.3
Diafonía óptica		dB	6.6.4
Diferencia máxima de potencia de canal en el punto MPI-R o en el punto R'		dB	6.6.5
Puertos de salida de canal			
Diafonía óptica en los puertos de salida de canal		dB	6.7.1
NOTA – Los parámetros adicionales que no se definen en 6.7 quedan en estudio.			
Entradas del receptor			
Sensibilidad del receptor		dBm	6.8.1
Sobrecarga del receptor		dBm	6.8.2
Penalización del trayecto óptico		dB	6.8.3
Reflectancia del receptor		dB	6.8.4
Relación señal/ruido óptica		dB	6.8.5
Longitud de onda del receptor mínima		nm	6.8.6
Longitud de onda del receptor máxima		nm	6.8.6

ANEXO A

Frecuencias centrales nominales

El cuadro A.1 enumera las frecuencias centrales en base a separación mínima de canales de 50 GHz referenciados con respecto a la frecuencia de 193,10 THz. Nótese que el valor de "c" (velocidad de la luz) que debería utilizarse para la conversión entre frecuencia y longitud de onda es de $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Cuadro A.1/G.692 – Frecuencias centrales nominales

Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 50 GHz	Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 100 GHz y superiores	Longitudes de onda central nominal (nm)
196,10	196,10	1528,77
196,05	–	1529,16
196,00	196,00	1529,55
195,95	–	1529,94
195,90	195,90	1530,33
195,85	–	1530,72
195,80	195,80	1531,12
195,75	–	1531,51
195,70	195,70	1531,90
195,65	–	1532,29
195,60	195,60	1532,68
195,55	–	1533,07
195,50	195,50	1533,47
195,45	–	1533,86
195,40	195,40	1534,25
195,35	–	1534,64
195,30	195,30	1535,04
195,25	–	1535,43
195,20	195,20	1535,82
195,15	–	1536,22
195,10	195,10	1536,61
195,05	–	1537,00
195,00	195,00	1537,40
194,95	–	1537,79
194,90	194,90	1538,19
194,85	–	1538,58
194,80	194,80	1538,98
194,75	–	1539,37
194,70	194,70	1539,77

Cuadro A.1/G.692 – Frecuencias centrales nominales (continuación)

Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 50 GHz	Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 100 GHz y superiores	Longitudes de onda central nominal (nm)
194,65	–	1540,16
194,60	194,60	1540,56
194,55	–	1540,95
194,50	194,50	1541,35
194,45	–	1541,75
194,40	194,40	1542,14
194,35	–	1542,54
194,30	194,30	1542,94
194,25	–	1543,33
194,20	194,20	1543,73
194,15	–	1544,13
194,10	194,10	1544,53
194,05	–	1544,92
194,00	194,00	1545,32
193,95	–	1545,72
193,90	193,90	1546,12
193,85	–	1546,52
193,80	193,80	1546,92
193,75	–	1547,32
193,70	193,70	1547,72
193,65	–	1548,11
193,60	193,60	1548,51
193,55	–	1548,91
193,50	193,50	1549,32
193,45	–	1549,72
193,40	193,40	1550,12
193,35	–	1550,52
193,30	193,30	1550,92
193,25	–	1551,32
193,20	193,20	1551,72
193,15	–	1552,12
193,10	193,10	1552,52
193,05	–	1552,93
193,00	193,00	1553,33
192,95	–	1553,73
192,90	192,90	1554,13

Cuadro A.1/G.692 – Frecuencias centrales nominales (fin)

Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 50 GHz	Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 100 GHz y superiores	Longitudes de onda central nominal (nm)
192,85	–	1554,54
192,80	192,80	1554,94
192,75	–	1555,34
192,70	192,70	1555,75
192,65	–	1556,15
192,60	192,60	1556,55
192,55	–	1556,96
192,50	192,50	1557,36
192,45	–	1557,77
192,40	192,40	1558,17
192,35	–	1558,58
192,30	192,30	1558,98
192,25	–	1559,39
192,20	192,20	1559,79
192,15	–	1560,20
192,10	192,10	1560,61

NOTA – Los valores extremos de este cuadro sólo tienen carácter ilustrativo. Está previsto que los sistemas multicanales evolucionen de forma que incluyan frecuencias más allá de esos límites.

ANEXO B

Enfoques alternativos para el canal de supervisión óptico

Dos amplificadores que trabajen con OSC de distintas longitudes de onda, no gozarán en general de compatibilidad transversal.

B.1 OSC a 1480 nm

La longitud de onda debe ser 1480 ± 10 nm ($202,6 \pm 1,4$ THz).

Se utiliza el mismo enfoque que para los sistemas monocanales.

B.2 OSC en la banda de 1310 nm

Se utiliza el mismo enfoque que para sistemas monocanal. Los límites de esta gama de longitud de onda quedan en estudio.

B.3 OSC en la anchura de banda de ganancia del EDFA

La opción de OSC dentro de banda está destinada a aplicaciones en las que se transportan varias longitudes de onda a través de uno o más amplificadores de línea a la mayor distancia posible entre amplificadores y con una gran capacidad por canal. Para estas aplicaciones, los EDFA hacen uso de su máxima potencia de bombeo manteniéndose dentro de los límites de fiabilidad del láser de bombeo.

APÉNDICE I

Metodología para determinar los niveles de potencia óptica

Este apéndice proporciona información adicional sobre la selección de la potencia óptica máxima y mínima de canal, así como sobre la potencia máxima total.

I.1 Potencia de canal

I.1.1 Potencia mínima de canal

Este apéndice describe una metodología que puede utilizarse para obtener la potencia óptica mínima de canal al final de la vida útil, necesaria para mantener la relación señal/ruido óptica deseada (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*). A fin de relacionar la OSNR con la BER, debe tenerse en cuenta el proceso de detección, que es diferente en sistemas con amplificadores y en sistemas sin amplificadores. La relación con la BER es una característica del receptor, que no está incluida en la metodología de diseño. La potencia óptica mínima de canal que resulta es independiente del número de canales (es decir, de las longitudes de onda) y puede utilizarse para sistemas de una solo canal o sistemas multicanales. Esta metodología es de especial interés en sistemas con amplificadores de línea, pero también puede utilizarse para sistemas con preamplificadores.

Este apéndice describe como los efectos de la emisión espontánea amplificada (ASE) limitan la potencia óptica mínima de canal para sistemas con amplificadores ópticos de un solo canal o multicanales.

En un amplificador óptico la potencia de la ASE por unidad de frecuencia para viene dada por:

$$P_{ASE} = 2 N_{SP} (G - 1) h \nu \quad (I-1)$$

donde $N_{SP} \geq 1$ es el factor de ruido espontáneo, G es la ganancia interna, h es la constante de Planck y ν es la frecuencia óptica. La figura de ruido del amplificador externo viene dada (en dB) por:

$$NF = 10 \text{ Log} \left[2 N_{SP} - \frac{2 N_{SP} - 1}{G} \right] + \eta_{IN} \quad (I-2)$$

donde η_{IN} es la pérdida por acoplamiento de entrada en dB. Si se hace la hipótesis simplificada de que la potencia total de salida (incluida la potencia de ASE acumulada) es

la misma después de cada amplificador y que la ganancia es $G \gg 1$, la relación señal/ruido óptica es aproximadamente:

$$OSNR = P_{out} - L - NF - 10 \text{ Log } N - 10 \text{ Log}[h\nu\Delta\nu_0] \quad (I-3)$$

donde P_{out} es la potencia de salida (por canal) en dBm, L es la atenuación del vano entre amplificadores en dB, NF es la figura de ruido externa en dB, $\Delta\nu_0$, es la anchura de banda óptica, N es el número de vanos de la cadena, habiéndose supuesto que todos los vanos tienen la misma atenuación. En la banda de $1,55 \mu\text{m}$, $10 \text{ Log}(h\nu\Delta\nu_0) = -58$ dBm en la anchura de banda óptica de $0,1$ nm. Este enfoque puede aplicarse a un sistema en el que las atenuaciones de los distintos vanos difieran, siempre que todas las atenuaciones sean iguales o menores que L , obteniéndose así el caso más desfavorable de OSNR.

La relación anterior proporciona una predicción práctica y útil ya que la OSNR a la entrada del receptor (punto R_n de la figura 1) es el promedio del valor cuadrático medio de N fuentes de ruido efectivas, de forma que las pequeñas diferencias entre la atenuación que sufre la potencia de salida en los distintos vanos tiende a un valor promedio. La hipótesis de que $G \gg 1$ es cierta para la mayoría de los sistemas con amplificadores.

La ecuación (I-3) puede utilizarse para estimar la potencia óptica mínima (P_{out}) necesaria para mantener una OSNR objetivo. Esta potencia de salida mínima debe medirse en el punto S' a la salida de los amplificadores tal como se indica en la figura 1. Dado que éste es un valor límite para la potencia mínima (de canal) y es independiente del número de canales, puede utilizarse tanto para sistemas monocanales como multicanales. En caso de que varíe la potencia de los canales y la potencia de éstos sea igual o superior a la potencia mínima, todas las OSNR serán también iguales o mayores que el valor mínimo requerido.

En sistemas WDM reales, la potencia de salida de canal variará debido a diferentes niveles de ganancia, pudiendo también existir diferencias en las figuras de ruido de los distintos amplificadores y de los distintos canales. Además, probablemente las pérdidas del vano no serán las mismas para todos. No obstante, la ecuación (I-3) es útil para establecer los niveles mínimos de potencia de canal, ya que sólo es necesario considerar el caso más desfavorable (es decir, con todas las pérdidas de vano iguales al valor más elevado y teniendo en cuenta el canal con la potencia de salida más baja).

I.1.2 Potencia máxima de canal

Las limitaciones de los niveles de potencia óptica máxima pueden deberse a los efectos no lineales de la fibra o a consideraciones relativas a la seguridad de los láser. Si la máxima potencia de salida total (incluida la ASE) se fija al valor límite del láser de clase 3A, P_{3A} la potencia nominal máxima de cada canal, $P_{ch\text{m}\acute{a}\text{x}}$, está relacionada con el número de canales según la fórmula siguiente:

$$P_{ch\text{m}\acute{a}\text{x}} = P_{3A} - 10 \text{ Log}(M), \quad (I-4)$$

donde M es el número de canales en funcionamiento. Esta ecuación tiene una finalidad ilustrativa ya que la potencia de salida puede ser diferente en cada canal siempre que la potencia de salida sea inferior a P_{3A} . Esta limitación es válida para sistemas con

amplificadores de línea y sistemas sin amplificadores de línea tal como se describe en la presente Recomendación.

En algunos casos, las no linealidades de la fibra imponen límites más restrictivos sobre el nivel de potencia de salida que las consideraciones de seguridad de los láser. En concreto, la modulación de autofase (SPM, *self phase modulation*), la modulación de fase cruzada (XPM, *cross-phase modulation*) y la dispersión de Brillouin estimulada (SBS, *stimulated Brillouin scattering*) limitan la potencia máxima de canal. Los límites que sobre la potencia óptica imponen la SPM y la SBS no dependen del número de canales presentes y, en el caso de la SPM, sólo se ven afectados los sistemas basados en fibras G.652 y G.655. Sin embargo, la XPM sólo afecta a sistemas multicanal y se hace más relevante en sistemas con separaciones reducidas entre canales. Las degradaciones producidas por la XPM son más significativas en sistemas con fibra G.652, en comparación con lo que ocurre en los que tienen fibras G.653 y G.655. La máxima potencia de salida permitida para cada canal debida a limitaciones derivadas de la XPM y SPM varía en función del código de aplicación empleado y depende del número de vanos y de la longitud objetivo de los mismos.

Los límites sobre la potencia óptica máxima de canal que provoca la SBS requieren ulteriores estudios y no se tratan en esta Recomendación. La mezcla de cuatro ondas (FWM, *four-wave mixing*) sólo afecta a sistemas multicanales y no presenta una limitación práctica en sistemas con fibras G.652 y G.655. Tampoco la dispersión estimulada de Raman presenta una limitación práctica en las fibras G.652 en los sistemas multicanales descritos en esta Recomendación. El impacto de la dispersión estimulada de Raman en algunos sistemas multicanal con separaciones de canales distintas con fibras G.653 queda en estudio.

I.1.3 Gama máxima para la potencia de canal

Los tres límites del nivel de potencia que se definen en I.1.1 y I.1.2 determinan la gama máxima de niveles de potencia de canal. La potencia mínima de canal no depende del número de canales presentes, mientras que potencia máxima de canal sí depende del número de canales presentes. A modo de ejemplo, si hay ocho canales, el nivel máximo viene dado por el límite de SPM aplicable para el código de aplicación de que se trate. Sólo se podrá obtener una potencia de canal relativamente alta cuando haya pocos canales, produciéndose una reducción en el nivel de potencia de canal cuando se añaden canales adicionales. No obstante, ello depende de la realización práctica de los amplificadores de fibra óptica.

I.2 Potencia total máxima

La potencia total de salida requerida de los amplificadores ópticos puede estimarse mediante la fórmula siguiente:

$$P_{tot} = \sum P_{out} + N \cdot BW_{eff} \cdot h\nu \cdot 10^{(NF+L)/10} \quad (I-5)$$

Donde NF y L vienen dados en dB y los demás términos en unidades lineales. El último término es la potencia ASE total acumulada y BW_{eff} es la anchura de banda ASE efectiva definida como la potencia ASE total dividida por la densidad de potencia ASE. Esta anchura de banda es de unos 20-30 nm para un amplificador y de aproximadamente 15 nm para una cadena de hasta diez amplificadores, en tanto en cuanto la ganancia de la señal se mantenga

cercana a la ganancia espectral máxima del amplificador. Esta aproximación es suficiente siempre que la potencia total esté determinada por la potencia de la señal.

APÉNDICE II

Selección de la separación mínima de canales y de la frecuencia de referencia de la rejilla del plan de multiplexación por división de longitud de onda (DWDM)

Este apéndice contiene un resumen de las discusiones que han resultado en la elección de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, como separación de canales, así como alguna información relacionada con la elección de la referencia absoluta de frecuencia (AFR, *absolute frequency reference*).

II.1 Separación de 50/100 GHz y referencia de 193,10 THz

La frecuencia de referencia de rejilla de 193,10 THz se ha elegido en parte para no establecer una frecuencia de referencia absoluta en base a una situación particular (la selección de una AFR en concreto será función de las diversas aplicaciones posibles). No obstante, el valor de 193,10 THz está próximo a varias de las propuestas de AFR.

Se ha elegido una separación mínima de canales de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, en base a las consideraciones siguientes:

En primer lugar, se ha acordado que la separación de canales sea múltiplo de 25 GHz. Se ha determinado que una separación de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, proporciona la flexibilidad necesaria para satisfacer varios requisitos de aplicación de la Recomendación G.692. Los múltiplos de la separación de canal mínima pueden cumplir con estos requisitos en lo que se refiere al espectro de ganancia utilizable del EDFA y a la capacidad.

Se han discutido las limitaciones tecnológicas (es decir, tolerancia de filtros y de fuentes) para determinar una separación mínima de canales. Este enfoque trata de hacer el mejor uso de la tecnología y de no imponer limitaciones asociadas con aplicaciones específicas. En base a estas consideraciones, la separación mínima de canales podía ser 125 GHz y 150 GHz. La elección de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, como separación mínima de canales sugiere que, a la vista de la previsión de evolución tecnológica, estas separaciones sólo se consiguen en un subconjunto de las aplicaciones G.692.

II.2 Referencia absoluta de frecuencia (AFR)

Es una referencia a una frecuencia óptica que proporciona una señal óptica con una precisión de frecuencia igual o superior a (*) y con una estabilidad de frecuencia igual o superior a (*), estando ambos parámetros verificados mediante una frecuencia ideal normalizada, como por ejemplo, las normas nacionales o las normas recomendadas por el Comité Internacional de

pesos y medidas (CIPM, *international committee for weights and measures*), incluida una referencia de He-Ne estabilizado con yodo y He-Ne estabilizado con metano.

La AFR puede utilizarse en las aplicaciones siguientes:

- 1) para calibrar equipos de prueba de WDM;
- 2) para proporcionar una frecuencia de referencia para la fabricación y calibración de dispositivos WDM;
- 3) para proporcionar directamente una frecuencia de referencia a sistemas multicanales;
- 4) para controlar y/o mantener frecuencias de fuentes ópticas.

Los requisitos para una AFR pueden expresarse como frecuencia o longitud de onda en el vacío.

NOTA – Los valores numéricos indicados mediante (*) quedan en estudio.

II.2.1 Precisión de la AFR

Es la variación a largo plazo de la frecuencia de una señal AFR con respecto a su frecuencia ideal (largo plazo indica aquí la duración esperada del funcionamiento de la AFR).

NOTA – La precisión de la frecuencia incluye posibles cambios en la misma debido a variaciones en la temperatura y la humedad, así como otros cambios del entorno. También se incluye la facilidad para ser fijada, para ser reproducida y para hacer un seguimiento de la misma con respecto a una frecuencia ideal normalizada.

II.2.2 Estabilidad de la AFR

Queda en estudio.

APÉNDICE III

Propuesta de asignación de las frecuencias de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655

El cuadro III.1 ilustra algunas posibles frecuencias centrales de canal propuestas para fibras G.652 o G.655. Cuadro III.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655

Frecuencia en THz	Separación 100 GHz (8 canales o más)	Separación 200 GHz (4 canales o más)	Separación 400 GHz (sólo 4 canales)	Separación 500/400 GHz (sólo 8 canales)	Separación 600 GHz (sólo 4 canales)	Separación 1000 GHz (sólo 4 canales)	Longitud de onda en el vacío en nm
196,1		*					1528,77
196,0	*						1529,55
195,9	*	*					1530,33
195,8	*						1531,12
195,7	*	*					1531,90
195,6	*						1532,68
195,5	*	*			*	*	1533,47
195,4	*						1534,25
195,3	*	*		*			1535,04
195,2	*						1535,82
195,1	*	*					1536,61
195,0	*						1537,40
194,9	*	*			*		1538,19
194,8	*			*			1538,98
194,7	*	*					1539,77
194,6	*						1540,56
194,5	*	*				*	1541,35
194,4	*						1542,14
194,3	*	*		*	*		1542,94
194,2	*						1543,73
194,1	*	*					1544,53
194,0	*						1545,32
193,9	*	*	*	*			1546,12
193,8	*						1546,92
193,7	*	*		*	*		1547,72
193,6	*						1548,51
193,5	*	*	*			*	1549,32
193,4	*			*			1550,12
193,3	*	*		*			1550,92
193,2	*						1551,72

**Cuadro III.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones
basadas en fibras G.652/G.655**

Frecuencia en THz	Separación 100 GHz (8 canales o más)	Separación 200 GHz (4 canales o más)	Separación 400 GHz (sólo 4 canales)		Separación 500/400 GHz (sólo 8 canales)	Separación 600 GHz (sólo 4 canales)	Separación 1000 GHz (sólo 4 canales)	Longitud de onda en el vacío en nm
193,1	*	*	*			*		1552,52
193,0	*				*			1553,33
192,9	*	*		*				1554,13
192,8	*							1554,94
192,7	*	*	*					1555,75
192,6	*							1556,55
192,5	*	*		*	*	*	*	1557,36
192,4	*							1558,17
192,3	*	*	*					1558,98
192,2	*							1559,79
192,1	*	*			*			1560,61

APÉNDICE IV

Propuesta de asignación de las frecuencias de canal para aplicaciones basadas en fibras G.653

El cuadro IV.1 ilustra algunas posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones con fibra G.653. Algunas aplicaciones pueden limitarse por la mezcla de cuatro ondas si se utiliza la misma separación entre todos los canales. Una forma de mitigar esta situación consiste en utilizar una separación irregular entre canales. En el apéndice V se describe en detalle un método para la separación irregular de canales. Otra forma potencial de mitigar esto consiste, tal como se menciona en el apéndice VII, en combinar la selección de canales con la transmisión WDM bidireccional.

Cuadro IV.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones de 4 u 8 canales en fibras G.653

Frecuencia en THz	Separación de 100 GHz (8 canales o más)	Separación de 200 GHz (4 canales o más)	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 25 GHz	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 50 GHz	Longitud de onda en el vacío en nm
	Separación irregular en la rejilla de frecuencia nominal		Separación irregular por desplazamiento de la rejilla de frecuencia nominal		
196,1	*				1528,77
196,0	*				1529,55
195,9	*	*			1530,33
195,8	*				1531,12
195,7	*	*			1531,90
195,6	*				1532,68
195,5	*	*			1533,47

Cuadro IV.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones de 4 u 8 canales en fibras G.653 (fin)

Frecuencia en THz	Separación de 100 GHz (8 canales o más)	Separación de 200 GHz (4 canales o más)	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 25 GHz	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 50 GHz	Longitud de onda en el vacío en nm
	Separación irregular en la rejilla de frecuencia nominal		Separación irregular por desplazamiento de la rejilla de frecuencia nominal		
195,4	*				1534,25
195,3	*	*			1535,04
195,2	*				1535,82
195,1	*	*			1536,61
195,0	*				1537,40
194,9	*	*			1538,19
194,8	*				1538,98
194,7	*	*			1539,77
194,6	*				1540,56
194,5	*	*		(194,45)	1541,35
194,4	*				1542,14
194,3	*	*		(194,2)	1542,94
194,2	*				1543,73
194,1	*	*			1544,53
194,0	*				1545,32
193,9	*	*	*		1546,12
193,8	*				1546,92
193,7	*	*	(193,675)	*	1547,72

Frecuencia en THz	Separación de 100 GHz (8 canales o más)	Separación de 200 GHz (4 canales o más)	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 25 GHz	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 50 GHz	Longitud de onda en el vacío en nm
	Separación irregular en la rejilla de frecuencia nominal		Separación irregular por desplazamiento de la rejilla de frecuencia nominal		
193,6	*				1548,51
193,5	*	*	(193,525)		1549,32
193,4	*				1550,12
193,3	*	*	(193,35)	*	1550,92
193,2	*				1551,72
193,1	*	*	*	*	1552,52
193,0	*				1553,33
192,9	*	*	*		1554,13
192,8	*				1554,94
192,7	*	*	(192,625)	(192,75)	1555,75
192,6	*				1556,55
192,5	*	*	*	(192,45)	1557,36
192,4	*				1558,17
192,3	*	*		*	1558,98
192,2	*				1559,79
192,1	*	*			1560,61

APÉNDICE V

Metodología de asignación de canales para aplicaciones basadas en fibras de tipo G.653 con una separación irregular de canales

Introducción

La distancia de transmisión de los sistemas multicanales sobre fibra G.653 se ve severamente restringida por la mezcla de cuatro ondas (FWM, *four-wave mixing*) cuando la separación entre las frecuencias de los canales es constante. Sin embargo, esta limitación puede mitigarse asignando los canales de forma irregular (para más información véase el apéndice II y 3.2/G.663).

La figura V.1 a) muestra un ejemplo de frecuencias asignadas con una separación idéntica, así como la potencia óptica FWM resultante, en la que algunas potencias ópticas FWM se superponen con la potencia óptica de la señal degradando así la calidad de la transmisión. La figura V.1 b) muestra un ejemplo de separación irregular en el que se evita el solapamiento indeseado. Este Apéndice proporciona una metodología de asignación de canal para las fibras G.653 basada en la separación irregular de los canales.

NOTA – La aplicabilidad de esta metodología se confirmó hasta 12 canales, aunque la descripción del texto es aplicable sobre todo a un sistema de 8 canales.

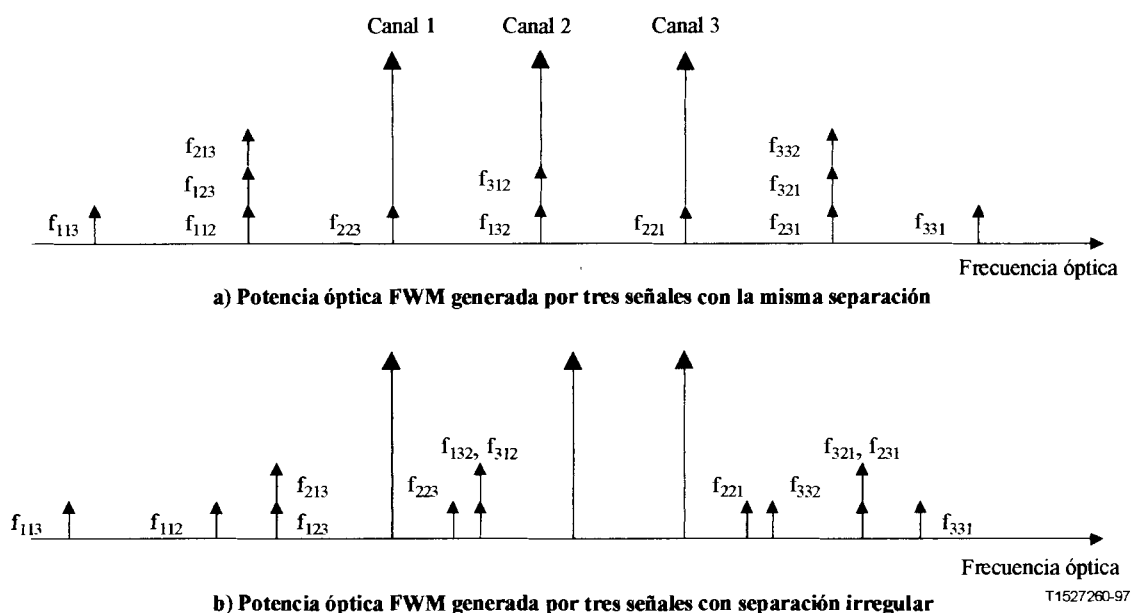


Figura V.1/G.692 – Ejemplo de las frecuencias de la señal y las potencias ópticas FWM resultantes

V.1 Determinación de las frecuencias de canal con separación irregular

V.1.1 Condiciones básicas de diseño

En primer lugar, deben cumplirse las dos condiciones siguientes.

(1-1) Las frecuencias de canal con separación irregular deben estar situadas, al menos el mayor número de ellas que sea posible, en la rejilla de 100 GHz que figura en el anexo A. Si algunas de las frecuencias no pueden estar situadas en la rejilla, deben ubicarse dentro de la gama de control de temperatura de los láseres que cumple con la rejilla.

La condición (1-1) tiene en cuenta fuentes ópticas de utilización habitual en sistemas multicanal de separación constante con fibras G.652 y G.655 y en sistemas multicanal de separación irregular con fibras G.653.

(1-2) Las frecuencias de canal de separación irregular deben elegirse de tal forma que no exista potencia alguna generada por FWM dentro de ningún canal óptico.

Para satisfacer (1-2), la distancia entre cualesquiera dos canales debe ser distinta de la de cualquier otra pareja de canales [1]. Ello se debe a que las frecuencias originales f_i , f_j y f_k , por un lado, y la frecuencia de la potencia óptica FWM f_{ijk} se relacionan mediante la ecuación siguiente:

$$f_{ijk} - f_i = f_j - f_k (i, j \neq k) \quad (V-1)$$

Para la selección práctica de las frecuencias, deben utilizarse "intervalos de frecuencia", que se representan como "fs". La distancia entre dos canales cualesquiera es un múltiplo entero de

f_s ($f_s \times n_i$, $i = 1, 2, \dots, N - 1$, donde N es el número canales), pero asegurándose de que todas las separaciones de canales son diferentes. Entonces, f_s es igual a la diferencia de frecuencia mínima entre las potencias ópticas FWM y las señales ópticas. El conjunto de enteros n_i debe elegirse para minimizar la anchura de banda óptica que abarca todas las frecuencias.

En el cuadro V.1 y en la referencia [1] se muestran ejemplos de conjuntos de enteros n_i para sistemas de 8 canales que satisfacen la condición (1-2).

Cuadro V.1/G.692 – Conjuntos de valores de n_i para la asignación de 8 canales con separación irregular

n_i mínimo	Conjunto de n_i que minimiza la anchura de banda óptica total	Número de conjuntos	Número de intervalos s ($\sum n_i$)	Ejemplos
1	1,2,3,5,6,7,10	2	34	(1,3,5,6,7,10,2)
2	2,3,4,5,7,8,10	2	39	(2,4,10,3,8,7,5)
	2,3,4,5,6,8,11	2		(3,6,11,5,2,8,4)
	2,3,4,5,6,9,10	4		(2,6,5,10,4,3,9)
	2,3,4,5,6,7,12	14		(3,7,12,2,6,5,4)
3	2,3,4,6,7,8,9	2		(3,2,8,4,7,9,6)
	3,4,5,6,7,8,10	10	43	(3,6,7,4,8,10,5)
4	4,5,6,7,8,9,10	76	49	(8,9,7,6,5,10,4)
5	5,6,7,8,9,10,11	206	56	(9,6,7,10,8,11,5)
6	6,7,8,9,10,11,12	506	63	(6,7,8,9,10,12,11)

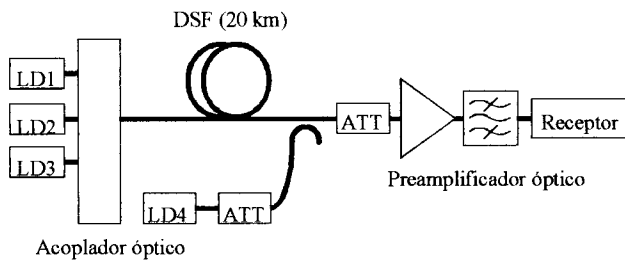
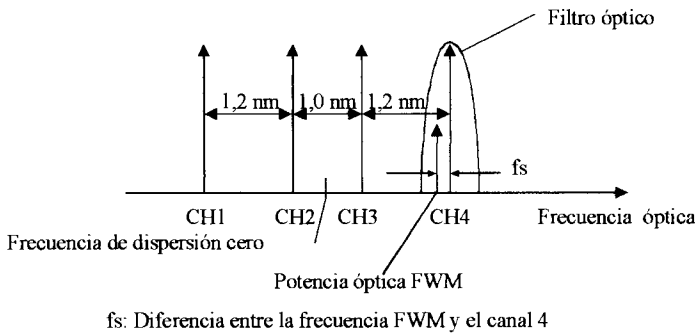
Además de las condiciones (1-1) y (1-2), debe tenerse en cuenta la condición (1-3) siguiente.

(4-4) La suma de las diferencias en frecuencia entre cada frecuencia con separación irregular y la frecuencia más próximas de la rejilla debe ser mínima.

V.1.2 Determinación del intervalo entre frecuencias

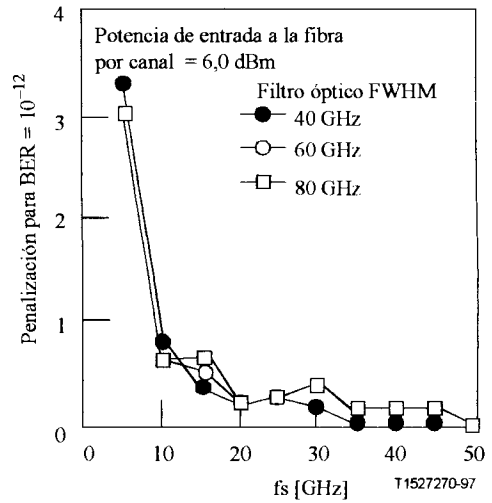
Para determinar los valores de las frecuencias, debe en primer lugar fijarse cual debe ser el valor mínimo del intervalo entre frecuencias. A fin facilitar la comprensión de como se determina el "intervalo mínimo entre frecuencias", en la figura V.2 a) se simula el caso de transmisión de tres canales a 10 Gbit/s.

Se supone que los tres canales se modulan externamente. En la figura V.2 b) se muestra la penalización en función del valor del intervalo de frecuencia para una BER de 10^{-12} . Los resultados indican que el intervalo de frecuencia debe ser mayor que 20 GHz para penalizaciones menores de 0,5 dB.



Atenuación de la fibra	0,22 dB/km
Pendiente de la dispersión	0,07 ps/km/nm/nm
Índice de la refracción no lineal, n2	$2,7 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$
Área efectiva de la fibra, Aeff	50 μm^2

a)



b)

Figura V.2/G.692 – Penalización en función de la frecuencia fs

Además, cuando la frecuencia de la señal óptica fluctúa en Δf , la diferencia de frecuencias se reduce en $4\Delta f$, en el caso más desfavorable como se desprende de la ecuación (V-1). Si se consigue reducir la fluctuación de frecuencia de la fuente a menos de 1 GHz mediante técnicas de estabilización de frecuencia [2], la diferencia entre la señal óptica y la potencia óptica de FWM se reduce de 24 GHz a 20 GHz en el caso más desfavorable, tal como se desprende de la ecuación (V-1). Debido a que la mejor estabilidad de frecuencia que puede conseguirse en la práctica hoy en día con tecnología convencional es de aproximadamente 1 GHz, un cuarto de la rejilla de la separación de frecuencia de 100 GHz, es decir, 25 GHz, es un intervalo de frecuencia mínimo adecuado.

V.1.3 Anchura de banda óptica para una asignación de frecuencia con separación irregular

La anchura de banda óptica necesaria para cada intervalo de frecuencia es la que se muestra en la figura V.3. La anchura de banda óptica requerida puede calcularse mediante el cuadro V.1.

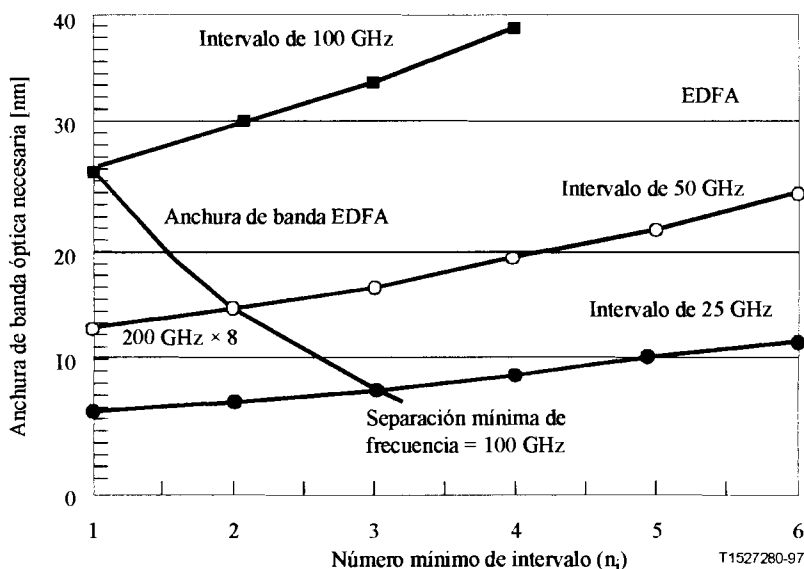


Figura V.3/G.692 – Anchura de banda óptica necesaria

V.2 Asignación de frecuencia a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 25 GHz

Las condiciones de diseño para la asignación de frecuencias para una separación irregular e intervalo de frecuencia de 25 GHz son las siguientes:

(2-1) La anchura de banda ocupada debe ser menor que la de un sistema WDM con 8 canales con separación regular de canales a 200 GHz (11,2 nm), de forma que puedan utilizarse amplificadores ópticos con la misma anchura de banda de ganancia.

(2-2) La separación de frecuencia mínima es de 125 GHz.

La separación de frecuencia mínima más grande posible debe estar comprendida en la anchura de banda óptica de forma que se reduzca el efecto de vaciado de bombeo debido a la FWM. Tal como se muestra en la figura V.3, (25 GHz \times 5) es, en este caso, la separación de canal mínima.

(2-3) La separación entre canales se determina de conformidad con la regla 25 GHz \times M (M = 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) a fin de que todos los canales se encuentren en la anchura de banda óptica de 11,2 nm. Se selecciona un conjunto que satisfaga la condición de diseño (1-2) y (1-3). Existen 206 combinaciones que cumplen estos requisitos.

(2-4) La diferencia máxima de frecuencia entre cada una de las frecuencias con separación irregular y la frecuencia más próxima de la rejilla de 200 GHz debe ser menor de 75 GHz, de forma que las frecuencias con separación irregular puedan sintonizarse a partir de la frecuencia más próxima de la rejilla de 200 GHz exclusivamente mediante control de la temperatura.

V.3 Asignación de frecuencias a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 50 GHz

Las condiciones de diseño para la asignación de frecuencias con separación irregular e intervalo de 50 GHz son las siguientes:

(3-1) La longitud de onda de la señal óptica debe ser menor de 1560 nm y la anchura de banda ocupada debe ser inferior de 20 nm de forma que puedan utilizarse los amplificadores de fibra óptica dopada con Er^{3+} [3].

(3-2) La separación mínima entre frecuencias es de 150 GHz ($50 \text{ GHz} \times 3$).

Como se menciona en (2-2) de la subcláusula V.2, una separación mínima de más de 100 GHz es adecuada.

(4-4) La separación entre canales se determina de acuerdo con la regla $50 \text{ GHz} \times M$ ($M = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10$) a fin de minimizar la anchura de banda óptica total y satisfacer las condiciones de diseño de la subcláusula V.1.

V.4 Asignación de frecuencias a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 100 GHz

Las condiciones de diseño para la asignación de frecuencias con separación irregular e intervalo de 100 GHz son las siguientes:

(4-1) Las longitudes de onda de la señal óptica deben estar comprendidas entre 1530 nm y 1561 nm de forma que puedan utilizarse los amplificadores de fibra óptica de fluoruro dopada con Er^{3+} .

(4-2) La señal óptica no debe estar en la longitud de onda próxima a 1549 nm debido a que los amplificadores de fibra óptica de fluoruro dopada con Er^{3+} sufren una disminución de ganancia en esta región.

(4-3) La separación mínima entre frecuencias es de 200 GHz.

Si la frecuencia mínima de separación es 100 GHz, no existe una asignación de frecuencias que satisfaga las condiciones (4-1) y (4-2). Por lo tanto, 200 GHz es más conveniente como la separación mínima de frecuencia.

(4-4) La separación entre canales se determina de acuerdo con la regla $100 \text{ GHz} \times M$ [$M = (2, 3, 4, 5, 7, 8, 10), (2, 3, 4, 5, 6, 8, 11), (2, 3, 4, 5, 6, 9, 10), (2, 3, 4, 5, 6, 7, 12), (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9)$] a fin de minimizar la anchura de banda óptica total y satisfacer las condiciones de diseño (4-2) y (4-3).

V.5 Impacto de la separación irregular sobre otros parámetros

V.5.1 Desviación de frecuencia para separación irregular con desplazamiento de frecuencia

Tal como se ha mencionado en la subcláusula V.1, el intervalo mínimo de frecuencia debe ser mayor de 20 GHz cuando se suponga una velocidad de transmisión de 10 Gbit/s. Ello significa que la diferencia mínima de frecuencia entre una señal óptica y la potencia óptica de la FWM debe ser mayor de 2,0 veces la velocidad de transmisión cuando no hay desviación de

frecuencia. Además, cuando la frecuencia de las señales ópticas fluctúa Δf , la diferencia en frecuencia se reduce $4\Delta f$. Por lo tanto, la desviación de frecuencia permitida viene dada por:

$$\Delta f \leq \frac{fs - 2,0 B}{4} \quad (\text{V-1})$$

donde fs es el intervalo de frecuencia.

Cuando la velocidad de transmisión es 2,5 Gbit/s, la desviación de frecuencia permitida es la que se muestra en el cuadro V.2.

Cuadro V.2/G.692 – Desviación de frecuencia permitida (2,5 Gbit/s)

Intervalo de frecuencia	25	50	100
Desviación máxima de la frecuencia central \pm GHz	4-5	11	23

V.5.2 Niveles de potencia

La separación irregular limita la potencia de entrada máxima de la fibra. Su desarrollo queda en estudio.

V.6 Bibliografía

- [1] FORGHIERI (F.), TKACH (R.W.), CHRAPLYVY (A.R.), MARCUSE (D.): Reduction of Four-Wave Mixing Crosstalk in WDM Systems Using Unequally Spaced Channels, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, N.º 6, pp. 754-756, 1994.
- [2] ODA (K.), TOBA (H.), NOSU (K.): Long Term Laboratory Test of a Fully-Engineered 128 Channel Optical FDM Distribution System, in *ECOC'93, paper TuP4.3*, pp. 117-120, 1993.
- [3] KASHIWADA (T.), NAKAZATO (K.), OHNISHI (M.), KANAMORI (H.), NISHIMURA (M.): Spectral Gain Behavior of Er-doped Fiber with Extremely High Aluminum Concentration, *OAA'93, MA6-1*, 1993.

APÉNDICE VI

Utilización de la pre-igualación en el punto MPI-S

La pre-igualación puede utilizarse en la interfaz MPI-S a fin de aumentar la variación de ganancia del amplificador de línea y la desviación de ganancia que puede tolerar un sistema que, al mismo tiempo, mantiene una cierta diferencia de niveles en la potencia máxima de los

canales. Ello garantiza que el diseño de los amplificadores y los planes de longitudes de onda no se encuentren limitados en exceso.

La pre-igualación compensa en parte la variación de ganancia del amplificador de línea y la desviación de ganancia mediante el esquema siguiente. La potencia de canal más elevada en MPI-S se asigna al canal que tenga la menor ganancia del amplificador de línea, mientras que la potencia de canal más baja en MPI-S se asigna al canal que tenga la mayor ganancia del amplificador de línea. Se especifica la máxima diferencia entre la potencia de dos canales cualesquiera en MPI-S así como la variación de potencia de canal. Ello limita la variación de potencia en MPI-S de cualquier canal, así como la gama de potencias que depende del canal y que están asociadas a los trayectos ópticos entre las interfaces del transmisor S_1 - S_n y la interfaz MPI-S. La pre-igualación se utiliza sobre todo para compensar aquellas tolerancias que variarán sistemáticamente.

Si no se utiliza la pre-igualación, la diferencia de potencia de canal en la interfaz de transmisión MPI-S hace que se reduzca la variación de la ganancia del amplificador y la desviación de ganancia que puede tolerar el sistema. Por lo tanto, en este caso, debe minimizarse la diferencia de potencia de canal en la interfaz MPI-S.

APÉNDICE VII

Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la transmisión bidireccional mediante WDM

La WDM unidireccional consiste en la transmisión de todos los canales ópticos de una fibra simultáneamente en la misma dirección (véase la figura VII.1). La WDM bidireccional consiste en la transmisión de todos los canales ópticos de una fibra simultáneamente en ambas direcciones (véase la figura VII.2).

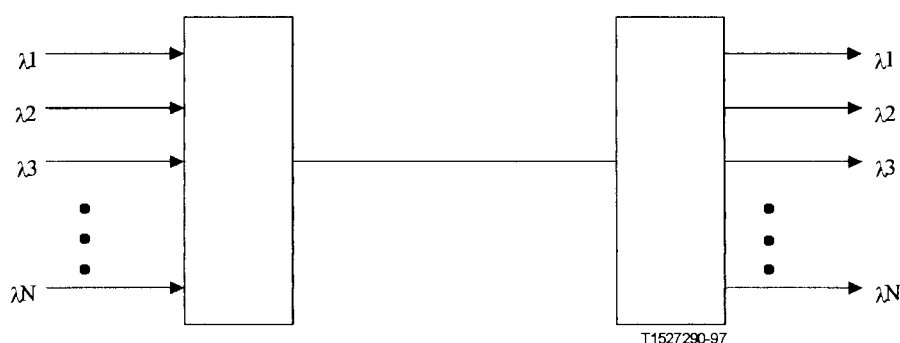


Figura VII.1/G.692 – WDM unidireccional

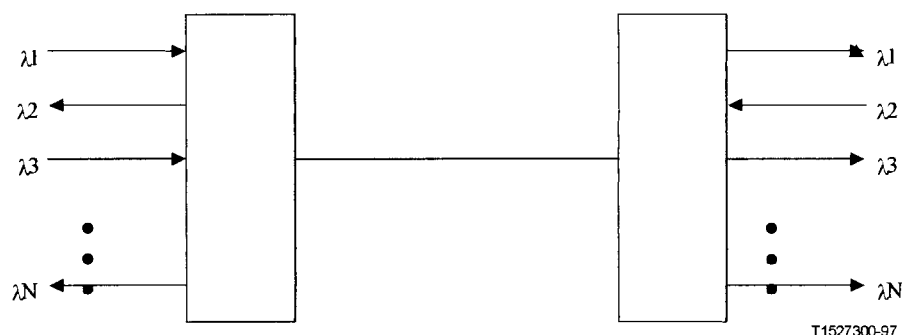


Figura VII.2/G.692 – WDM bidireccional

En general, la WDM bidireccional puede reducir el número de fibras y de amplificadores de línea que se necesitan en comparación con los sistemas que utilizan WDM unidireccional. Un beneficio adicional de la WDM bidireccional es la posible mejora de la calidad en relación con la mezcla de cuatro frecuencias (FWM), en particular cuando se implementa sobre fibra G.653.

El diseño de la WDM bidireccional debe tener en cuenta varios aspectos fundamentales de los sistemas. Debe tomarse las precauciones debidas sobre las reflexiones ópticas a fin de evitar la interferencia por trayectos múltiples (MPI, *multi path interference*). Algunas consideraciones adicionales son las relativas a los tipos y valores de la diafonía, los valores e interdependencia de los niveles de potencia para ambos sentidos de transmisión, la transmisión de OSC y el corte automático de la potencia. Su desarrollo queda en estudio.

La especificación completa de la WDM bidireccional en la presente Recomendación puede requerir que se definan nuevos códigos de aplicación, así como la modificación de algunos de los existentes y la incorporación de nuevas definiciones de parámetros.

APÉNDICE VIII

Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la transmisión de 16 y de 32 o más canales

En base a las necesidades del mercado, el campo de aplicación de la Recomendación G.692 ha sido ampliado a sistemas de línea de larga distancia con 16 y 32 o más canales. Esta ampliación tiene un impacto en los parámetros y en sus correspondientes valores en la mayor parte de la Recomendación G.692. Por ejemplo:

- número y asignación de las frecuencias necesarias;
- separación de frecuencias;
- distancias totales que pueden conseguirse;
- potencia óptica máxima nominal de canal.

Todo ello puede exigir nuevos códigos de aplicación.

La frecuencias centrales que se presentan en los cuadros III.1 y IV.1 pueden ser utilizadas para asignar 16 y 32 canales; así por ejemplo:

- 16 canales con separación de 100 GHz o 200 GHz; o
- 32 canales con separación de 100 GHz.

Además de las frecuencias centrales y la separación de frecuencias, los sistemas de 16 y de 32 o más (posiblemente con una separación de 50 GHz) canales requieren que se definan otros parámetros ópticos así como los valores asociados a los mismos para. Todo ello queda en estudio.

APÉNDICE IX

Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la velocidad de transmisión STM-64

En base a las necesidades del mercado, el campo de aplicación de la Recomendación G.692 ha sido ampliado a sistemas de línea de larga distancia con velocidad binaria STM-64 (10 Gbit/s). Esta ampliación tiene un impacto en los parámetros y en sus correspondientes valores en la mayor parte de la Recomendación G.692; así por ejemplo, en:

- la distancia total alcanzable de los sistemas multicanal para STM-64; y
- la técnica de acomodación de la dispersión,

lo cual puede generar códigos de aplicación adicionales.

Los sistemas WDM STM-64 sobre fibras G.652 requieren una técnica de acomodación de la dispersión para todos los códigos de aplicación STM-64.

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 Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión 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
- Serie Z Lenguajes de programación

GLOSARIO

Asíncrono: Transmisión en la cual los datos o información son sincronizados o medidos en el tiempo individualmente, por los dígitos binarios del comienzo y parada.

ATM: Es una tecnología del establecimiento de una red de alto rendimiento. Utiliza tramas pequeñas de longitud fija (53 bytes) para transportar los datos. El ancho de banda máximo es actualmente de 622 Mbps. Los medios típicos son el cable de Cu de par trenzado y la fibra óptica.

CDMA: Todos los transmisores transmiten dentro de la misma banda de frecuencias y por razones prácticas no tienen limitación de cuándo pueden transmitir o en que frecuencia de la portadora.

Craft terminal: Pc o portátil que posee el software para administración de la red, a través de la cual puedo configurar y monitorear cada elemento del sistema DWDM.

Demultiplexación: Separación de una señal compuesta en señales individuales.

E1: Estándar europeo para señalar la velocidad de transmisión en 2.048 Mbps.

Equipo Terminal: Es el dispositivo final de un enlace de comunicaciones usado para transmitir o recibir la información.

Fotón: Es un cuanto de energía

Jerarquía: Serie de elementos clasificados por un rango u orden.

Multiplexación: Combinación de varias señales individuales.

RDSI: Es una evolución de la línea telefónica analógica convencional, que ofrece conexión completamente digital de extremo a extremo. En RDSI existen dos tipos de acceso uno de 128 Kbps (acceso básico) y otro de 2.048 Mbps (acceso primario). El medio típico es el cable de Cu de para trenzado.

Señalización: Consiste en un conjunto de señales que tiene como funciones primordiales alertar al abonado (o servicio) llamado, conectar correctamente al abonado que llama con el abonado llamado, informar del proceso de la llamada, realizar el cómputo o tasación de la llamada y desconectar a los abonados al terminar la comunicación.

Síncrono: Ocurre en fase o concordancia en el tiempo, determinado por flancos de reloj.

Span: Distancia entre postes.

TDMA: Cada transmisor envía pequeñas ráfagas de información durante una ranura de tiempo específico (intervalo) dentro de una trama TDMA. Las ráfagas deben ser sincronizadas de tal manera que la información llegue al transmisor en tiempos diferentes, separándolas en el dominio del tiempo.

UIT-T G.652: Características de un cable de fibra óptica monomodo.

UIT-T G.653: Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.

UIT-T G.654: Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.

UIT-T G.655: Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula.

UIT-T G.692: Interfaces Ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.

UIT-T G.957: Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona.

UIT-T G.958: Sistemas de línea digitales basados en la jerarquía digital síncrona para utilización en cables de fibra óptica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bob Chomycz. Instalaciones de Fibra Óptica; Fundamentos, técnicas y aplicaciones. Mc Graw Hill, primera edición, España, 1998, 225 p.
2. Stamatios V. Kartalopoulos; Fault Detectability in DWDM, Toward Higher Signal Quality y System Reliability, IEEE Press Editorial Board, New York, 2001, 156p.
3. http://cienciafísica.com/sistemas_opt1/sistemas027.htm
4. http://escandon.unizar.es/aplicaciones_redes.html
5. <http://isainc.com>
6. <http://labcom.ing.uc.edu.ve/eslared/pract08.doc>
7. <http://wdm1.virtualave.net>
8. <http://www.alcatel.com/telecom>
9. <http://www.cedmagazine.com/ced/9802/9802b.htm>
10. <http://www.cedmagazine.com/ced/9805/9805b.htm>
11. <http://www.cis.edu>
12. http://www.conectronica_eefibraoptica.htm
13. <http://www.connect-world.com/docs/articles/cwasia2q99/griffinmarconicwasia2q99.asp>
14. <http://www.eie.ucr.ac.cr/prodida/baseht/hija/502te1a.htm>
15. <http://www.exfo.com>
16. <http://www.fcr.fr/es/savoirfaire/fibre.htm>
17. <http://www.historiadelatelecomunicaciones.htm>
18. <http://www.iies.es/teleco/asesoria/tecnica/uit/ndexg.htm>
19. <http://www.informe%20Final%20de%20SDH.htm>
20. <http://www.intelnet.com>

21. <http://www.kusanet.com/articles/hogaras.html>
22. <http://www.mit.edu>
23. <http://www.optelecom.com>
24. <http://www.policom.com.br/acessorios/95039.htm>
25. <http://www.rares.com.ar/interest.htm>
26. <http://www.siemens.com/opto.html>
27. <http://www.sosein.com/PFO.htm>
28. <http://www.tecomm.com/Esp/Multiplexers.htm>
29. http://www.urec.fr/hd/DWDM/NORTEL/WDM_ready_localnet.pdf
30. http://www.webserver.pue.udlap.mx/~lgojeda/telecom3/fibra_optica/antecedentefo.htm
31. <http://www.teoveras.com.do/Fibra%20Optica.htm>
32. <http://www.fcr.fr/es/savoirfaire/fibre.htm>
33. <http://www.tellabs.com>
34. <http://www.siena.com>
35. http://www.infowin.org/ACTS/NEWS/CONTENT_ES/990402uk.htm
36. <http://www.intec.rug.ac.be/research/projects/horizon/projects/highway/highway.html>
37. <http://www.tecomm.com/Esp/Multiplexers.htm>
38. <http://www.tecomm.com/Esp/Multi-Drops.htm>
39. <http://userfs.ccc.wustl.edu/~pw5/courses/t82-531/termpaper.htm>
40. <http://www.trsonesource.com/trs/content/products/sale/testequip-c02.asp>
41. http://www.cienciafisica.com/sistemas_opt1/sistemas027.htm

