

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA**



**Implementación de un Sistema DWDM en la Red
Interurbana de Fibra Optica de Telcel BellSouth y
Evaluación Teórica de Equipos DWDM**

**Trabajo Especial de Grado Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por:
Ing. Carlos Ramiro Vieites Freire
Para optar al título de
Especialista en Telecomunicaciones Digitales
Tutor: Prof. Carlos M. Bianchi**

Caracas, Diciembre 2003

Resumen

El trabajo esta basado en la investigación de los fundamentos, componentes y aplicaciones actualmente existentes en la tecnología DWDM, en el desarrollo de un proyecto para la implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth, y en la evaluación teórica de un conjunto de equipos DWDM de diversos fabricantes.

El proyecto de implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth, se realizó para los tramos interurbanos de fibra óptica entre las estaciones MTSO Canaima (Caracas), MTSO Valencia (Valencia), MTSO Barquisimeto (Barquisimeto) y MTSO Maracaibo (Maracaibo). El tramo entre MTSO Canaima y MTSO Valencia va a disponer de las estaciones intermedias Tiara y Venepal, el tramo entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto va a disponer de las estaciones intermedias Puerto Cabello y San Felipe, y el tramo entre MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo esta conformado por las estaciones intermedias Arenales, Camoruco, El Venado y Ciudad Ojeda. Para determinar la cantidad de canales o longitudes de onda que van a conformar el agregado DWDM, así como también, la máxima velocidad de transmisión para cada canal, se recurrió al presupuesto de potencia (factor Q) y al análisis del ancho de banda para cada uno de los tramos.

En la evaluación teórica de los equipos DWDM se evaluaron y analizaron equipos DWDM de diferentes fabricantes, para ello se implemento un cuestionario de evaluación, el cual arrojó como resultado que los equipos PLT 40/80 de ERICSSON y 1686 WM de ALCATEL son los que ofrecen el mayor cumplimiento total, pero al tomar en cuenta que las plataformas de gestión que dispone Telcel Bellsouth son el ENM de ECI y el 1354RM de ALCATEL, y además que los equipos DWDM seleccionados deben presentar la mejor opción costo-beneficio, modularidad y escalabilidad, los equipos DWDM que tienen la mayor opción a ser seleccionados son el 1686WM de ALCATEL y el XDM de ECI.

Dedicó este trabajo ante todo a Dios y a la Virgen, a mis padres y a mi tío Manolo que siempre han sido mi bandera de lucha, a mi esposa Anny y a mi hijo Carlos Daniel que son mi motivo de vida.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas aquellas personas que de una manera u otra han contribuido a la realización de este trabajo.

A mi tutor académico, el Prof. Carlos Bianchi, por ser mi guía y consejero en las diferentes actividades y dificultades que comprendieron el desarrollo de este trabajo de grado.

A la Gerencia General de Planificación y Desarrollo de la Red de Transmisión de Telcel Bellsouth, en especial al Ing. Jesús A. Hernández, por su valiosa colaboración en la facilitación de información y conocimientos sobre la red de transmisión interurbana de Telcel Bellsouth.

A los asesores comerciales y técnicos de las empresas fabricantes de equipos DWDM como Alcatel, Huawei, Siemens, Ericsson y ECI, ya que me brindaron toda la documentación y soporte necesario acerca de las diferentes características y bondades de cada uno de los equipos que conforman un sistema DWDM.

Finalmente, quiero agradecer a toda mi familia, en especial a mis padres, a mi esposa Anny, a mi hijo Carlos Daniel y a mi hermano José Manuel, por haberme dado todo el apoyo necesario para llevar a cabo esta ardua labor.

Indice General

Resumen	I
Reconocimientos	III
Indice General	IV
Indice de Tablas	XXIII
Indice de Figuras	XIX
Lista de Abreviaturas	XXII
Capítulo I: Introducción.	1
Capítulo II: Fundamentos, Componentes y Aplicaciones en DWDM.	
2.0 Introducción.	4
2.1 Principios Basicos.	6
2.1.1 Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).	6
2.1.2 Dominio de la Longitud de Onda y la Separación entre Canales.	7
2.1.3 Ubicación de las Longitudes de Ondas.	9
2.1.4 Conversión de Frecuencia Optica/Longitud de Onda Optica.	11
2.1.5 Algunas Definiciones.	12
2.1.5.1 Dispersión Cromática.	12
2.1.5.2 Dispersión por Modo de Polarización (PMD).	14
2.1.5.3 Espaciamiento del canal en el Mux/Demux.	15
2.1.5.4 Uniformidad del Canal.	15
2.1.5.5 Canal Pasabanda.	15
2.1.5.6 Forma del Pasabanda.	16
2.1.5.7 Uniformidad del Pasabanda (Ripple).	16
2.1.5.8 Pérdidas de Inserción.	17
2.1.5.9 Crosstalk Optico.	17
2.1.5.10 Pérdidas de Retorno.	19
2.1.6 Propagación de Solitones en Fibras Opticas.	19
2.1.7 Características de Modulación y Detección de un Sistema WDM/DWDM.	22
2.1.7.1 Modulación Optica.	22
2.1.7.1.1 Modulación de Intensidad (IM).	23
2.2 Demultiplexores y Multiplexores por División de Longitud de Onda Densa.	26
2.2.1 Componentes Pasivos Actualmente Disponibles.	26
2.2.2 Multiplexación a Través del Uso del Prisma.	27
2.2.3 Arreglo de Guía de Onda (AWG).	28
2.2.3.1 Dependencia de la Polarización.	30
2.2.3.2 Desplazamientos Térmicos.	30
2.2.3.3 Estado del Arte en los AWGs.	31
2.2.4 Rejillas de Difracción.	31
2.2.5 Filtros Interferométricos Mach Zehnder (MZ).	36

2.2.6	Fibra con Rejillas de Difracción de Bragg (FBG).	38
2.2.6.1	Modulación Periódica en el Índice de la Fibra.	38
2.2.6.2	Propiedades de las Fibras con Redes de Difracción de Bragg.	39
2.2.6.3	Tipos de Rejillas de Difracción de Bragg.	41
2.2.6.4	Aplicaciones de las Fibras con Rejillas de Difracción de Bragg.	42
2.2.7	Filtros de Película Delgada (TFF).	42
2.2.8	Comparación de las diferentes soluciones.	43
2.2.8.1	Conclusión.	44
2.3	Fuentes y Convertidores de Longitud de Onda para DWDM.	46
2.3.1	Láseres Semiconductores.	46
2.3.1.1	Material Empleado en la Elaboración del Láser.	46
2.3.1.2	Láser Quantum Well (QW).	47
2.3.1.3	Láser Quantum Dot (QD).	47
2.3.1.4	Láser Semiconductor de Emisión de Borde.	48
2.3.1.4.1	Láser Fabry Perot (FP).	48
2.3.1.4.2	Láser de Retículas de Realimentación Distribuida (DFB).	48
2.3.1.4.3	Láser DBR.	50
2.3.1.4.4	Láser C ³ (Cleaved Coupled Cavity).	51
2.3.1.4.5	Láser GCSR (Grating Coupled Sampled Reflector).	51
2.3.1.5	Láser Emisor de Superficie de Cavity Vertical (VCSEL).	52
2.3.2	Comparación de las Diferentes Tecnologías.	52
2.3.3	Convertidores de Longitud de Onda.	54
2.3.3.1	Conversión Optoelectrónica.	55
2.3.3.2	XGM (Cross Gain Modulation).	56
2.3.3.3	XPM (Cross Phase Modulation).	57
2.3.3.4	FWM (Four Wave Mixing).	58
2.3.3.5	Generación de Diferencia de Frecuencias (DFG).	59
2.3.3.6	Estado del Arte en la Conversión de la Longitud de Onda.	59
2.4	WDM y la Amplificación Óptica.	60
2.4.1	Tipos de Amplificadores Ópticos.	63
2.4.1.1	Amplificadores Basados en Láseres Semiconductores.	64
2.4.1.1.1	Amplificadores Fabry Perot (FPA).	65
2.4.1.1.2	Amplificadores de Onda Viajera (TWAs).	66
2.4.1.2	Amplificadores de Difracción Estimulada de Brillouin (SBS).	67
2.4.1.3	Amplificadores de Difracción Estimulada de Raman (SRS).	67
2.4.1.4	Amplificadores de Fibra Óptica Dopada con Tierras Raras.	67
2.4.1.4.1	Amplificadores de Fibra Dopados con Erblio (EDFAs).	71
2.4.1.4.2	Amplificadores de Praseodimio.	73
2.4.2	Ganancia, Ruido y Propiedades Dinámicas.	74
2.4.3	Ventajas y Desventajas de los EDFAs.	77
2.4.4	Comparación de Algunas Características Típicas de los Principales Amplificadores Ópticos.	78
2.5	Routers, Cross-Connects y Add/Drops.	79
2.5.1	Conexiones en las Redes WDM.	79
2.5.2	Conversión de Longitudes de Onda.	80
2.5.3	Clasificación de la Arquitectura de Red.	81
2.5.3.1	Redes que Difunden y Seleccionan.	81
2.5.3.2	Redes Encaminadas con Longitudes de Ondas.	82
2.5.3.3	Redes Encaminadas Lógicamente.	82
2.5.3.4	Arquitectura Multigranular de los Cross-Connects (XC).	82

2.5.4	Conmutadores Espaciales.	84
2.5.4.1	Conmutadores Crossbar.	84
2.5.4.2	Routers/Conmutadores Benes y Conmutadores Selectores.	85
2.5.4.3	Tecnologías Existentes en los Conmutadores.	86
2.5.5	Router Pasivo de Longitud de Onda.	86
2.5.5.1	Nodos Interconectados con Multiplexores/Demultiplexores.	86
2.5.5.2	Routers Estáticos de Retículas.	88
2.5.5.2.1	Aplicaciones Típicas.	89
2.5.5.2.2	Encaminadores Estáticos de Longitudes de Onda Basados en una Configuración de Retículas de Difracción "Free Space".	89
2.5.5.2.3	Router Estático de Longitud de Onda Basado en AWGs.	92
2.5.6	Cross connects Opticos.	93
2.5.6.1	WSXC (Wavelength Selective Cross Connect)	94
2.5.6.1.1	Tecnología Implementada en los WSXC	94
2.5.6.2	Cross Connects con Conversores de Longitud de Onda.	96
2.5.7	El OADM (Optical Add-Drop Multiplexer).	97
2.5.7.1	OADM con FBGs y Circuladores.	98
2.5.7.2	OADM con AWGs.	99
2.5.7.3	Desempeño de los OADMs en Cascada.	100
2.6	Limitaciones en WDM Causadas por las No Linealidades de la Fibra Optica.	101
2.6.1	Automodulación de Fase (SPM).	102
2.6.2	Modulación de Fase Cruzada (XPM).	105
2.6.3	Mezcla de cuatro ondas (FWM).	106
2.6.3.1	FWM Intercanal.	106
2.6.3.2	FWM Intracanal (IFWM).	110
2.6.4	Dispersión Estimulada de Raman (SRS).	110
2.6.5	Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS).	112
2.6.6	Conclusiones.	113
2.7	Desempeño del Sistema de Transmisión.	115
2.7.1	Aplicaciones de los EDFAs.	120
2.8	Aplicaciones de DWDM en las Redes de Telecomunicaciones.	128
2.8.1	Las Redes DWDM de Hoy y del Futuro.	128
2.8.1.1	Topologías de Redes y Modos de Transferencia.	131
2.8.1.2	WDM para la Conmutación y el Enrutamiento Optico.	134
2.8.1.3	Hacia la Evolución de IP sobre DWDM.	136
2.8.1.4	Conmutación de Paquetes Opticos.	137
2.8.2	Transmisión Sobre Largas Distancias.	138

Capítulo III: Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana de Fibra Optica de Telcel.

3.0	Introducción.	141
3.1	Características de la Red Interurbana de Fibra Optica.	142
3.1.1	Red Interurbana del Tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia.	143
3.1.2	Red Interurbana del Tramo MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto.	145
3.1.3	Red Interurbana del Tramo MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo.	146
3.2	Requerimientos y Características de los Dispositivos, Equipos y Fibra Optica a Implementar en el Proyecto Interurbano DWDM.	148

3.2.1	Características de las Fibras Opticas Utilizadas en el Proyecto.	150
3.2.1.1	Fibra Monomodo Estándar Corning SMF-28.	150
3.2.1.2	Fibra NZ-DSF Corning LEAF.	151
3.2.1.3	Especificaciones Opticas para las Fibras Opticas Corning SMF-28 y LEAF.	151
3.2.2	Parámetros de los Componentes Opticos.	152
3.2.2.1	Parámetros del Multiplexor Optico.	153
3.2.2.2	Parámetros del Demultiplexor Optico.	154
3.2.2.3	Parámetros del Amplificador Optico.	150
3.2.2.4	Parámetros de un Adaptador de Longitud de Onda (Transponder Optico).	155
3.2.2.5	Parámetros de una Interfaz Optica de un OADM.	158
3.2.2.6	Parámetros de la Unidad Compensadora de Dispersión (DCU).	159
3.3	Dispersión en la Fibra Optica.	160
3.3.1	Dispersión Intramodal o Cromática.	161
3.3.2	Dispersión por el Modo de Polarización.	163
3.3.3	Impacto en los Sistemas.	163
3.3.4	Cálculo de la Dispersión en la Fibra Monomodo Estándar SMF-28.	165
3.3.4.1	Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra SMF-28 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal – MTSO Valencia.	165
3.3.4.2	Cálculo de la PMD con Fibra SMF-28 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal - MTSO Valencia.	166
3.3.4.3	Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra SMF-28 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal – MTSO Valencia.	167
3.3.5	Cálculo de la Dispersión en la Fibra Monomodo LEAF.	169
3.3.5.1	Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal – MTSO Valencia.	169
3.3.5.2	Cálculo de la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	170
3.3.5.3	Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	171
3.3.5.4	Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	173
3.3.5.5	Cálculo de la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	175
3.3.5.6	Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	176
3.3.5.7	Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	179
3.3.5.8	Cálculo de la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	180
3.3.5.9	Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	181

3.3.6	Conclusiones Sobre los Efectos de la Dispersión.	183
3.4	Penalización de Potencia.	185
3.4.1	Penalización de Potencia Debido a la Dispersión.	185
3.4.1.1	Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a la Dispersión Cromática o Intramodal.	186
3.4.1.2	Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a la Dispersión por el Modo de Polarización (PMD).	188
3.4.2	Penalidad de Potencia debida al Efecto Chirp.	191
3.4.3	Penalidad de Potencia debido al Radio de Extinción No Ideal del Transmisor.	191
3.4.4	Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización (PDL).	192
3.4.4.1	Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	192
3.4.4.2	Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe- MTSO Barquisimeto.	195
3.4.4.3	Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	199
3.4.5	Penalidad de Potencia Debido al Crosstalk.	203
3.4.5.1	Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido al Crosstalk Intercanal.	204
3.4.6	Penalizaciones de Potencia Debidas a los Efectos No Lineales.	209
3.4.6.1	Penalidad de Potencia Debida a la Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS).	214
3.4.6.1.1	Cálculo del $P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.	215
3.4.6.1.2	Cálculo del $P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.	217
3.4.6.1.3	Cálculo del $P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Barquisimeto - Arenales - Camoruco– El Venado - Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550nm.	217
3.4.6.1.4	Resumen de los Resultados Obtenidos sobre la $P_{TH}(SBS)$.	218
3.4.6.2	Penalidad de Potencia debida a la Dispersión estimulada de Raman (SRS).	220
3.4.6.2.1	Cálculos del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal.	218
3.4.6.2.1.1	Cálculo del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal - MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.	221

3.4.6.2.1.2	Cálculo del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal en el Tramo MTSO Valencia –Puerto Cabello San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.	226
3.4.6.2.1.3	Cálculo del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales - Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.	227
3.4.6.2.2	Conclusiones sobre el Efecto de la SRS en un Sistema Monocanal y Multicanal.	229
3.4.6.3	Penalidad de Potencia debida a la Automodulación de Fase (SPM).	231
3.4.6.3.1	Cálculo del ϕ_{SPM} y de la P_{in} en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.	234
3.4.6.3.2	Cálculo del ϕ_{SPM} y de la P_{in} en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.	236
3.4.6.3.3	Cálculo del ϕ_{SPM} y de la P_{in} en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales- Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.	237
3.4.6.3.4	Resumen de los Resultados Obtenidos sobre el ϕ_{SPM} .	238
3.4.6.4	Penalidad de Potencia debida a la Modulación de Fase Cruzada (XPM).	239
3.4.6.4.1	Cálculo del ϕ_{XPM} en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.	241
3.4.6.4.2	Cálculo del ϕ_{XPM} en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.	242
3.4.6.4.3	Cálculo del ϕ_{XPM} en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales- Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550nm.	242
3.4.6.4.4	Observaciones Sobre los Resultados Obtenidos con el ϕ_{XPM} .	244
3.4.6.5	Penalidad de Potencia debida al Four Wave Mixing (FWM).	246
3.4.6.5.1	Cálculo de la $\Delta\beta$ y la η_{123} con un Espaciado entre Canales de 100GHz.	249
3.4.6.5.2	Cálculo de la $\Delta\beta$ y la η_{123} para un Mínimo Espaciado entre Canales.	251
3.4.6.5.3	Cálculo de P_{123} en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.	253
3.4.6.5.4	Cálculo de P_{123} en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.	256

3.4.6.5.5	Cálculo de P_{123} en Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.	259
3.4.6.5.6	Análisis y Resumen de los Resultados Obtenidos de $\Delta\beta$, η_{123} , y P_{123} .	260
3.5.6.5.7	Cálculo del Crosstalk generado por el FWM.	263
3.4.6.5.7.1	Cálculo del Crosstalk óptico en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.	264
3.4.6.5.7.2	Cálculo del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.	266
3.4.6.5.7.3	Cálculo del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.	268
3.4.6.5.8	Resumen de los Valores Obtenidos en el Crosstalk Optico.	270
3.4.7	Resumen de las Penalidades de Potencia.	272
3.5	Determinación del Factor Q Total y de la Sensibilidad Requerida en el Fotoreceptor y en los Amplificadores Opticos.	284
3.5.1	Cálculo del Factor Q Total para los Diferentes Tramos.	286
3.5.2	Cálculo de la P_{rec} en el Preamplificador Optico y en el Fotoreceptor para un Factor Q Ideal y Total.	293
3.6	Cálculo del Presupuesto de Potencia para los Diferentes Tramos.	302
3.6.1	Cálculo del Presupuesto de Potencia para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	303
3.6.1.1	Presupuesto de Potencia MTSO Canaima Dirección MTSO Valencia.	305
3.6.1.2	Presupuesto de Potencia MTSO Valencia Dirección MTSO Canaima.	310
3.6.1.3	Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	315
3.6.2	Presupuesto de Potencia para el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	317
3.6.2.1	Presupuesto de Potencia MTSO Valencia Dirección MTSO Barquisimeto.	319
3.6.2.2	Presupuesto de Potencia MTSO Barquisimeto dirección MTSO Valencia.	325
3.6.2.3	Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	332
3.6.3	Cálculo del Presupuesto de Potencia para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales- Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	334
3.6.3.1	Presupuesto de Potencia MTSO Barquisimeto – El Venado.	336

3.6.3.2	Presupuesto de Potencia MTSO Maracaibo – Celda El Venado.	339
3.6.3.3	Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales - Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	343
3.7	Análisis del Ancho de Banda.	346
3.7.1	Análisis del Ancho de Banda para el Sistema DWDM Implementado en la Red Interurbana de Fibra Optica.	349
3.7.1.1	Determinación del Tiempo de Subida del Emisor.	350
3.7.1.2	Determinación del Tiempo de Subida del Receptor.	350
3.7.1.3	Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión.	350
3.7.1.3.1	Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	351
3.7.1.3.2	Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	354
3.7.1.3.3	Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	357
3.7.2	Resumen de los Resultados Obtenidos en el Análisis del Ancho de Banda para el Sistema DWDM Implementado en la Red Interurbana de Fibra Optica.	359
 Capítulo IV: Evaluación Teórica de los Equipos DWDM.		
4.0	Introducción.	362
4.1	Matriz de Cumplimiento.	363
4.2	Matriz de Cumplimiento Calificación Final.	364
4.3	Análisis de la Matriz de Cumplimiento.	375
4.4	Resultados y Análisis de la Matriz de Cumplimiento Calificación Final.	386
 Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.		
 Anexo A: Matriz de Tráfico para los Diferentes Tramos que Conforman la Red Interurbana de Fibra Optica de Telcel BellSouth.		
		397

Anexo B: Especificaciones de la Fibra Optica Existente en la Red Interurbana de Telcel BellSouth.	399
Anexo C: Especificaciones de un Láser y de un Fotoreceptor PIN Típicamente Utilizados en DWDM.	407
Anexo D: Matriz de Cumplimiento de los Equipos DWDM Evaluados Teóricamente.	412
Bibliografía.	491

Índice de Tablas

Capítulo II

Tabla 2.1	Estándar de Frecuencias con sus Correspondientes Longitudes de Onda.	10
Tabla 2.2	Desempeño Típico en DWDM.	45
Tabla 2.3	Comparación de las Diferentes Tecnologías de Fuentes Sintonizables para DWDM.	53
Tabla 2.4	Comparación de Algunas Características de los Principales Amplificadores Ópticos.	78
Tabla 2.5	Conexión de 4 Longitudes de Onda en Cualquier Puerto de Entrada (1 al 4) a Cualquier Puerto de Salida.	87
Tabla 2.6	Comparación de Dos Tipos de OADM.	100
Tabla 1.7	Características Típicas en una Transmisión DWDM en Distancias Ultra Largas.	139

Capítulo III

Tabla 3.1	Características de la Fibra SMF-28 y LEAF de Corning.	152
Tabla 3.2	Parámetros de un Multiplexor Óptico.	153
Tabla 3.3	Parámetros de un Demultiplexor Óptico.	154
Tabla 3.4	Parámetros de un Amplificador Óptico.	154
Tabla 3.5	Parámetros de un Transponder Óptico del Lado Transmisor.	156
Tabla 3.6	Parámetros de un Transponder Óptico del Lado Transmisor.	157
Tabla 3.7	Parámetros de un Transponder Óptico como Regenerador.	157
Tabla 3.8	Parámetros de un OADM de 4 Canales.	158
Tabla 3.9	Parámetros de una Unidad Compensadora de Dispersión.	160
Tabla 3.10	Resultados de los Efectos de la Dispersión en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	183
Tabla 3.11	Resultados de los Efectos de la Dispersión en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	184
Tabla 3.12	Resultados de los Efectos de la Dispersión en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	184
Tabla 3.13	Penalidad de Potencia por la Dispersión Cromática en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	187
Tabla 3.14	Penalidad de Potencia por la Dispersión Cromática en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – san Felipe – MTSO Barquisimeto.	187
Tabla 3.15	Penalidad de Potencia por la Dispersión Cromática en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	188
Tabla 3.16	Comparación de la PMD con el Tbit/10 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	189
Tabla 3.17	Comparación de la PMD con el Tbit/10 en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	190
Tabla 3.18	Comparación de la PMD con el Tbit/10 en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	190

Tabla 3.19	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₁ (MTSO Canaima – Venepal).	194
Tabla 3.20	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₂ (Venepal – MTSO Valencia).	194
Tabla 3.21	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₂ (Venepal – MTSO Valencia).	194
Tabla 3.22	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	195
Tabla 3.23	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	195
Tabla 3.24	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello).	197
Tabla 3.25	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello).	197
Tabla 3.26	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₆ (San Felipe – MTSO Barquisimeto).	197
Tabla 3.27	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₆ (San Felipe – MTSO Barquisimeto).	198
Tabla 3.28	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₇ (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto).	198
Tabla 3.29	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₇ (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto).	198
Tabla 3.30	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₈ (MTSO Valencia – San Felipe).	199
Tabla 3.31	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₉ (MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello).	199
Tabla 3.32	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₁₁ (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda).	201
Tabla 3.33	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₁₁ (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda).	201
Tabla 3.34	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₁₂ (MTSO Barquisimeto – El Venado).	202
Tabla 3.35	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₁₂ (MTSO Barquisimeto – El Venado).	202
Tabla 3.36	PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L ₁₃ (MTSO Maracaibo – El Venado).	202
Tabla 3.37	PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L ₁₃ (MTSO Maracaibo – El Venado).	203
Tabla 3.38	Penalidad de Potencia por el Crosstalk en el Mux/Demux para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	208
Tabla 3.39	Penalidad de Potencia por el Crosstalk en el Mux/Demux para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	209
Tabla 3.40	Penalidad de Potencia por el Crosstalk en el Mux/Demux para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	209
Tabla 3.41	Atenuación de las Fibras Monomodo SMF-28 y LEAF.	211
Tabla 3.42	Longitud Efectiva en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	211
Tabla 3.43	Longitud Efectiva en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	212

Tabla 3.44	Longitud Efectiva en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	213
Tabla 3.45	Area Efectiva de las Fibras SMF-28 y LEAF.	214
Tabla 3.46	$P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	219
Tabla 3.47	$P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	219
Tabla 3.48	$P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	219
Tabla 3.49	$P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal con Penalidad de Potencia de 0.5 dB en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	230
Tabla 3.50	$P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal con Penalidad de Potencia de 0.5 dB en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	230
Tabla 3.51	$P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal con Penalidad de Potencia de 0.5 dB en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales- Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	231
Tabla 3.52	Resultados del ϕ_{SPM} y P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.	238
Tabla 3.53	Resultados del ϕ_{SPM} y P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	238
Tabla 3.54	Resultados del ϕ_{SPM} y P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales- Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	239
Tabla 3.55	Resultados del FWM con un Espaciado de canal de 100 GHz en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	261
Tabla 3.56	Resultados del FWM con un Mínimo Espaciado de canal en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	261
Tabla 3.57	Resultados del FWM con un Espaciado de canal de 100 GHz en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	261
Tabla 3.58	Resultados del FWM con un Mínimo Espaciado de canal en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	262
Tabla 3.59	Resultados del FWM con un Espaciado de canal de 100 GHz en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	262
Tabla 3.60	Resultados del FWM con un Mínimo Espaciado de canal en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	262
Tabla 3.61	Resultados del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.	270
Tabla 3.62	Resultados del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.	270
Tabla 3.63	Resultados del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.	271
Tabla 3.64	Penalidades de Potencia a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L_1 (MTSO Canaima – Estación Venepal).	272
Tabla 3.65	Penalidades de Potencia a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L_2 (Estación Venepal – MTSO Valencia).	273

Tabla 3.66	Penalidades de Potencia a la altura del Fotorreceptor para el Tramo L ₂ (Estación Venepal – MTSO Valencia).	274
Tabla 3.67	Penalidades de Potencia a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	275
Tabla 3.68	Penalidades de Potencia a la altura del Fotorreceptor para el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	276
Tabla 3.69	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello).	277
Tabla 3.70	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₆ (MTSO Barquisimeto – San Felipe).	278
Tabla 3.71	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₇ (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto).	279
Tabla 3.72	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₈ (MTSO Valencia – San Felipe).	280
Tabla 3.73	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₉ (MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello).	281
Tabla 3.74	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₁₁ (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda).	282
Tabla 3.75	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₁₂ (MTSO Barquisimeto – El Venado).	283
Tabla 3.76	Penalidades de Potencia para el Tramo L ₁₃ (MTSO Maracaibo – El Venado).	284
Tabla 3.77	Factor Q Total a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L ₁ (MTSO Canaima – Estación Venepal).	286
Tabla 3.78	Factor Q Total a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L ₂ (Estación Venepal – MTSO Valencia).	287
Tabla 3.79	Factor Q Total a la altura del Fotorreceptor para el Tramo L ₂ (Estación Venepal – MTSO Valencia).	288
Tabla 3.80	Factor Q Total a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	288
Tabla 3.81	Factor Q Total a la altura del Fotorreceptor para el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	289
Tabla 3.82	Factor Q Total para el Tramo L ₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello).	289
Tabla 3.83	Factor Q Total para el Tramo L ₆ (MTSO Barquisimeto – San Felipe).	290
Tabla 3.84	Factor Q Total para el Tramo L ₇ (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto).	290
Tabla 3.85	Factor Q Total para el Tramo L ₈ (MTSO Valencia – San Felipe).	291
Tabla 3.86	Factor Q Total para el Tramo L ₉ (MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello).	291
Tabla 3.87	Factor Q Total para el Tramo L ₁₁ (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda).	292
Tabla 3.88	Factor Q Total para el Tramo L ₁₂ (MTSO Barquisimeto – El Venado).	292
Tabla 3.89	Factor Q Total para el Tramo L ₁₃ (MTSO Maracaibo – El Venado).	293
Tabla 3.90	P _{rec} en el Preamplificador Optico para el Tramo L ₁ (MTSO Canaima – Estación Venepal).	296
Tabla 3.91	P _{rec} en el Preamplificador Optico para el Tramo L ₂ (Estación Venepal – MTSO Valencia).	297
Tabla 3.92	P _{rec} en el Fotorreceptor para el Tramo L ₂ (Estación Venepal – MTSO Valencia).	297
Tabla 3.93	P _{rec} en el Preamplificador Optico para el Tramo L ₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	297

Tabla 3.94	P_{rec} en el Fotoreceptor para el Tramo L_3 (MTSO Canaima – MTSO Valencia).	298
Tabla 3.95	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_4 (MTSO Valencia – Puerto Cabello).	298
Tabla 3.96	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_6 (MTSO Barquisimeto – San Felipe).	299
Tabla 3.97	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_7 (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto).	299
Tabla 3.98	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_8 (MTSO Valencia – San Felipe).	300
Tabla 3.99	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_9 (MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello).	300
Tabla 3.100	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_{11} (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda).	301
Tabla 3.101	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_{12} (MTSO Barquisimeto – El Venado).	301
Tabla 3.102	P_{rec} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L_{13} (MTSO Maracaibo – El Venado).	302
Tabla 3.103	Presupuesto de Potencia del Tramo L_3 (Parte I).	305
Tabla 3.104	Presupuesto de Potencia del Tramo L_1 (Parte II).	307
Tabla 3.105	Presupuesto de Potencia del Tramo L_3 (Parte II).	308
Tabla 3.106	Presupuesto de Potencia del Tramo L_2 (Parte I).	310
Tabla 3.107	Presupuesto de Potencia del Tramo L_2 (Parte II).	311
Tabla 3.108	Presupuesto de Potencia del Tramo L_3 (Parte I).	312
Tabla 3.109	Presupuesto de Potencia del Tramo L_3 (Parte II).	314
Tabla 3.110	Presupuesto de Potencia del Tramo L_4 (Parte I).	319
Tabla 3.111	Presupuesto de Potencia del Tramo L_4 (Parte II).	320
Tabla 3.112	Presupuesto de Potencia del Tramo L_7 (Parte I).	322
Tabla 3.113	Presupuesto de Potencia del Tramo L_8 (Parte II).	324
Tabla 3.114	Presupuesto de Potencia del Tramo L_7 (Parte II).	324
Tabla 3.115	Presupuesto de Potencia del Tramo L_6 (Parte I).	326
Tabla 3.116	Presupuesto de Potencia del Tramo L_6 (Parte II).	327
Tabla 3.117	Presupuesto de Potencia del Tramo L_7 (Parte I).	328
Tabla 3.118	Presupuesto de Potencia del Tramo L_9 (Parte II).	330
Tabla 3.119	Presupuesto de Potencia del Tramo L_4 y L_7 (Parte II).	331
Tabla 3.120	Presupuesto de Potencia del Tramo L_{12} (Parte I).	336
Tabla 3.121	Presupuesto de Potencia del Tramo L_{12} (Parte II).	338
Tabla 3.122	Presupuesto de Potencia del Tramo L_{11} (Parte I).	339
Tabla 3.123	Presupuesto de Potencia del Tramo L_{11} (Parte II).	340
Tabla 3.124	Presupuesto de Potencia del Tramo L_{13} (Parte I).	341
Tabla 3.125	Presupuesto de Potencia del Tramo L_{13} (Parte II).	342
Tabla 3.126	Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD para L_2 y L_3 .	351
Tabla 3.127	Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD para L_4 , L_6 y L_7 .	355
Tabla 3.128	Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD para L_{11} , L_{12} y L_{13} .	357
Tabla 3.129	Resultados Obtenidos en el $T_{r, fibra}$, T_r y el B_R para L_2 y L_3 .	360
Tabla 3.130	Resultados Obtenidos en el $T_{r, fibra}$, T_r y el B_R para L_4 , L_6 y L_7 .	361
Tabla 3.131	Resultados Obtenidos en el $T_{r, fibra}$, T_r y el B_R para L_{11} , L_{12} y L_{13} .	361

Capítulo IV

Tabla 4.1	Equipos DWDM y Fabricantes a ser Evaluados.	362
Tabla 4.2	Puntuación Obtenida en la Matriz de Cumplimiento Calificación Final.	386
Tabla 4.3	Porcentaje Obtenido en la Matriz de Cumplimiento Calificación Final.	386

Anexo A

Tabla A.1	Matriz de Tráfico de la Red Interurbana de Fibra Optica de Telcel BellSouth.	398
-----------	---	-----

Índice de Figuras

Capítulo II

Figura 2.1	Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).	7
Figura 2.2	Atenuación de una típica fibra óptica hecha de silicio.	8
Figura 2.3	Gráfica de la dispersión cromática contra longitud de onda.	13
Figura 2.4	Componentes de dispersión de los materiales y guías de ondas.	13
Figura 2.5	PMD en una fibra monomodo cuya asimetría es uniforme a lo largo de su longitud.	14
Figura 2.6	Respuesta espectral Gaussiana.	16
Figura 2.7	Medidas del cruce de canales y aislamiento en un Mux/Demux con respuesta espectral gaussiana.	19
Figura 2.8	Curva característica del diodo láser.	23
Figura 2.9	Efectos dispersivos del chirp sobre el pulso de salida del diodo láser.	25
Figura 2.10	Multiplexor VHDWDM conformado por 96 canales espaciados en 50 GHz.	26
Figura 2.11	Proceso de demultiplexación/multiplexación a través de un prisma.	28
Figura 2.12	Estructura del AWG.	28
Figura 2.13	Principio de multiplexación por difracción en una rejilla óptica.	32
Figura 2.14	Cálculo de los ángulos del orden de difracción.	32
Figura 2.15	Rejilla plana de difracción.	34
Figura 2.16	Rejilla cóncava de difracción .	34
Figura 2.17	Mux/demux implementado con rejillas de difracción.	35
Figura 2.18	Interferómetros MZ en cascada.	36
Figura 2.19	Fibra con redes de Bragg.	40
Figura 2.20	Extracción e inserción de longitudes de onda utilizando FBG y circuladores ópticos.	40
Figura 2.21	Mux/demux implementado con filtros ópticos de película delgada	43
Figura 2.22	Láser DFB sintonizable de multisección para 1500 nm.	49
Figura 2.23	Típico láser DBR.	50
Figura 2.24	Láser sintonizable SSG de cuatro secciones.	52
Figura 2.25	Convertidor optoelectrónico.	56
Figura 2.26	XGM en un SOA.	57
Figura 2.27	Conversión de longitud de onda utilizando una configuración con interferómetros MZ.	57
Figura 2.28	FWM y la generación de una diferencia de frecuencias para la conversión de longitudes de ondas.	59
Figura 2.29	Regenerador optoelectrónico.	61
Figura 2.30	Esquema del amplificador óptico.	62
Figura 2.31	Características de los amplificadores ópticos para la banda de los 1.5 μm .	64
Figura 2.32	Bandas ópticas amplificadas en un FPA, el modo 0 es el de mayor ganancia. El eje x representa las frecuencias de emisión.	65
Figura 2.33	Sistema de tres niveles. E_n : niveles de energía, ν_P : frecuencia de bombeo, $\nu_{\text{láser}} = (E_c - E_A) / h$.	69
Figura 2.34	Típico EDFA de dos etapas.	71

Figura 2.35	Multigranularidad del cross-connect.	83
Figura 2.36	Arquitectura de una matriz Crossbar.	84
Figura 2.37	A) Conmutador selector/router de 4x4. B) Conmutador Benes de 8x8.	85
Figura 2.38	Típica cross-conexión WDM realizada con multiplexores y demultiplexores en una configuración back-to-back.	87
Figura 2.39	Router pasivo de longitud de onda con una configuración de retículas de difracción trabajando en un orden fijo de difracción.	88
Figura 2.40	Router de retículas de difracción con doble arreglo de fibra.	90
Figura 2.41	Router de retículas de difracción con simple arreglo de fibra.	90
Figura 2.42	Configuración de un router de retículas de difracción. Una retícula de difracción plana es insertada dentro de un bloque de silicio.	91
Figura 2.43	Router con retículas cóncavas.	92
Figura 2.44	Router estático de longitud de onda conformado por un AWG.	93
Figura 2.45	Cross-connect selectivo de longitud de onda.	94
Figura 2.46	WSXC utilizando filtros sintonizables.	95
Figura 2.47	Ejemplo simplificado de un cross-connect de longitud de onda con conversión de longitud de onda.	96
Figura 2.48	Típico OADM	98
Figura 2.49	OADM con FBG y circuladores	98
Figura 2.50	OADM con AWGs	99
Figura 2.51	El pulso es ensanchado por SPM en una fibra de dispersión negativa	102
Figura 2.52	Señales en las frecuencias ν_1 y ν_2 y sus armónicas FWM.	106
Figura 2.53	Señales en las frecuencias ν_1 , ν_2 y ν_3 y sus nueve armónicas FWM, (a) La señal de los canales se ve afectada por un espaciado constante entre los canales, (b) la señal de los canales no se ve afectada cuando la frecuencia de separación es $\Delta\nu$ y $2\Delta\nu$.	107
Figura 2.54	Comparación de una fibra óptica NZDF con una LEAF frente a la intensidad luminosa.	109
Figura 2.55	Comportamientos de los diferentes tipos de fibras ópticas frente a la dispersión.	110
Figura 2.56	Coefficiente de ganancia de Raman en la región de 1550 nm.	111
Figura 2.57	Técnica para controlar la dispersión. Los largos trayectos de fibra estándar o con una dispersión promedio baja (NZDSF) al ser combinadas con segmentos de fibra con una alta dispersión local de signo opuesto limitan los efectos no lineales.	115
Figura 2.58	Bit Error Rate vs Factor Q.	118
Figura 2.59	Ruido vs Potencia de entrada (dBm).	119
Figura 2.60	Esquema de preamplificación óptica.	121
Figura 2.61	Esquema de amplificación óptica con un Booster.	123
Figura 1.62	Esquema de amplificación óptica con un ILA.	124
Figura 2.63	Sensibilidad del receptor como una función de bit rate para un típico fotodiodo PIN, APD y un receptor ópticamente preamplificado para un BER de 10^{-12} .	127
Figura 2.64	Esquemático de la Infraestructura de una red DWDM.	134
Capítulo III		
Figura 3.1	Sistema DWDM inicialmente a implementar en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Canaima y MTSO Valencia.	143

Figura 3.2	Sistema DWDM a implementar finalmente en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Canaima y MTSO Valencia.	144
Figura 3.3	Sistema DWDM implementado en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto.	145
Figura 3.4	Sistema DWDM implementado en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto.	147
Figura 3.5	Penalidad de potencia generada por la PMD para diferentes velocidades de transmisión.	189
Figura 3.6	Dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal - MTSO Valencia.	193
Figura 3.7	Dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM Implementado en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.	196
Figura 3.8	Dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	200
Figura 3.9	Espectro de frecuencias de los tonos ω_1 , ω_2 y ω_3 con el FWM asociado cuando $ \omega_1 - \omega_2 = \omega_2 - \omega_3 $.	246
Figura 3.10	Sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal – MTSO Valencia.	304
Figura 3.11	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal - MTSO Valencia.	315
Figura 3.12	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Valencia – Venepal.	316
Figura 3.13	Sistema DWDM implementado en tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.	318
Figura 3.14	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.	332
Figura 3.15	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello.	333
Figura 3.16	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Barquisimeto - San Felipe.	333
Figura 3.17	Sistema DWDM implementado en tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado - Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.	335
Figura 3.18	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda – El Venado.	344
Figura 3.19	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco – El Venado.	344
Figura 3.20	Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo.	345

Lista de Abreviaturas

ϵ	Fracción del pulso ensanchado o crosstalk
λ	Longitud de onda
α	Atenuación de la fibra
η	Eficiencia
τ	Ancho del pulso
$\Delta\lambda$	Espaciamiento de canal (nm)
ω_i	Frecuencia (i)
A_{eff}	Area efectiva
APD	Fotodiodo de avalancha
AWG	Arreglo de guías de ondas
B_R	Bit rate
B_e	Ancho de banda eléctrico
BER	Bit Error Rate
D	Coefficiente de dispersión cromática
D_{PMD}	Dispersión por modo de polarización de la fibra
EDFA	Amplificador dopado de Erbium
EDWA	Amplificador de guía de onda dopado con Erbium
f_c	Frecuencia portadora
FWM	Four Wave Mixing
G	Ganancia del amplificador
h	Constante de Plank = $6.63 \cdot 10^{-34}$ J/Hz
ISI	Interferencia intersimbólica
L	Longitud
L_{eff}	Longitud efectiva
L_{NL}	Longitud no lineal
N	Numero de canales
n_2	Indice de refracción dependiente de la intensidad
NF	Figura de ruido del amplificador
n_{SP}	Constante de emisión espontanea
NZ-DSF	Fibra de dispersión desplazada no-cero
PDL	Perdidas dependientes de la polarización
PMD	Dispersión del modo de polarización
PP	Penalidad de potencia
P_{rec}	Sensibilidad del receptor
P_{TH}	Umbral de potencia
r	Radio de extinción
SBS	Dispersión estimulada de Brillouin
SMF	Fibra monomodo
SNR	Relación señal a ruido
SPM	Modulación de Autofase
SRS	Dispersión estimulada de Raman
XPM	Modulación de Fase Cruzada

Capítulo I

Introducción

El crecimiento imparable de la Internet, así como la demanda sostenida de nuevos y más sofisticados servicios, supone cambios tecnológicos fundamentales respecto a las prácticas habituales desarrolladas a mitad de los años 90.

Las nuevas tecnologías de multiplexación sobre la fibra óptica como DWDM vienen a proporcionar una eficaz alternativa, ya que permite que cientos de longitudes de ondas por un haz de fibra generen una gran libertad de acción y flexibilidad a los diseñadores de redes.

La Tecnología DWDM será la vanguardia en las redes medulares (CORE NETWORKS), donde en un principio ofrecerá grandes anchos de banda a la espera de ser explotado.

El punto de interés hoy en día y con el cual se deben enfrentar todas aquellas empresas que prestan un servicio de telecomunicaciones y que a su vez poseen una red de fibra óptica para el manejo de su tráfico y el de otras entidades, es el de su migración a las nuevas tecnologías de multiplexación como es DWDM causando el menor impacto posible, y es a partir de esta premisa que surge la necesidad por parte de la Gerencia General de Transmisión de Telcel Bellsouth de llevar a cabo un trabajo de investigación sobre la implementación de un sistema

DWDM en su red de fibra interurbana, así como también, la de evaluar los diferentes fabricantes y proveedores de equipos DWDM existentes en el país.

El trabajo esta conformado por tres macro capítulos, donde el primero contempla los fundamentos, componentes y aplicaciones actualmente existentes en la tecnología DWDM, el segundo tiene que ver con el desarrollo de un proyecto para la implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth, y por último se llevo a cabo una evaluación teórica sobre un conjunto de equipos DWDM de diversos fabricantes.

El capítulo de fundamentos, componentes y aplicaciones en DWDM presenta una gran diversidad de conceptos, fundamentos y componentes que actualmente existen y son aplicables a la tecnología DWDM. Entre los conceptos y fundamentos se tienen los principios básicos de la multiplexación por división de longitud de onda, las características de los multiplexores y demultiplexores DWDM, fuentes y convertidores de longitud de onda para DWDM, amplificadores ópticos para WDM y el encaminamiento y/o inserción/extracción de longitudes de ondas en las redes ópticas a través de routers, cross-connects y add/drops ópticos.

En el capítulo de implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth, se presenta el desarrollo de un proyecto para la implementación de un sistema con tecnología DWDM en los tramos interurbanos de fibra óptica entre las estaciones MTSO Canaima (Caracas), MTSO Valencia (Valencia), MTSO Barquisimeto (Barquisimeto) y MTSO Maracaibo (Maracaibo). De igual modo, este proyecto esta diseñado para proveer toda la información necesaria para el diseño de un enlace de fibra óptica con tecnología DWDM (análisis de ancho de banda y presupuesto de potencia), ya que además de definir todos los conceptos básicos y necesarios para una transmisión monocanal, se han considerado todos los efectos que se generan a partir de una transmisión multicanal (DWDM), como son los efectos no lineales, así como también, la presencia de los amplificadores ópticos, quienes contribuyen con la inyección de altos niveles de potencia en la fibra y a la vez con la generación de ruido de emisión espontanea.

El capítulo de evaluación teórica de los equipos DWDM esta enfocado en evaluar y analizar los diferentes equipos que forman parte de un sistema DWDM, para ello inicialmente se implemento un cuestionario que le fue suministrado a conjunto empresas lideres en el desarrollo y fabricación de equipos DWDM, y una vez que los fabricantes consignaron las respuestas del cuestionario y los respectivos manuales técnicos de los equipos, se procedió a la realización de una matriz de cumplimiento para cada equipo DWDM, con la finalidad de determinar cual de los equipos es el más idóneo para instalar en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth.

Entre los fabricantes y equipos evaluados se tienen los siguientes:

- ECI con el XDM.
- ALCATEL con el 1686 WM.
- ERICSSON con el PLT 40/80.
- HUAWEI con el OptiX BWS 320G.
- SIEMENS con el FSP3000.

Es importante destacar, que el cuestionario aplicado contempla los requerimientos mínimos que deben cumplir los equipos DWDM para ser considerado un producto estándar de Telcel Bellsouth, así como también, en los criterios de funcionamiento, durabilidad, características ambientales, eléctricas y físicas que van a permitir una operación confiable con un mínimo mantenimiento durante la vida útil del equipo.

Capítulo II

Fundamentos, Componentes y Aplicaciones en DWDM

2.0.- Introducción.

El concepto de la multiplexación óptica no es nuevo, este data de al menos desde el año 1958, y cerca de 20 años más tarde fue cuando el primer componente para la mutiplexación fue propuesto inicialmente en los Estados Unidos, Japón y Europa. Antiguamente, las redes de fibra estaban confinadas básicamente al tráfico telefónico, pero estudios recientes revelan que la inclusión de la data y el vídeo en los canales de transmisión ha tenido un crecimiento exponencial y alcanzaban un 70% del tráfico para el año 2000. Específicamente el crecimiento del tráfico de voz se estima en un 8% anual y el de data (incluyendo el acceso a Internet por vía telefónica) en un 35%.

A mediados de los 80 quedó demostrado que la tecnología actual TDM (multiplexación de señales en el dominio del tiempo) no sería suficiente para afrontar la avalancha de demanda que se podía predecir. El tráfico de datos necesitó entonces el despliegue de la multiplexación de longitud de onda (WDM) en el que muchas señales pueden ser transmitidas simultáneamente por una sola

fibra, modulando señales discretas en diferentes bandas de frecuencia. Fue así como en un principio WDM dejó de ser un sueño de laboratorio para convertirse en una técnica de carácter comercial.

A principios de los 90, se denominó transmisión WDM en banda ancha a la transmisión de una señal a 1550 nm y otra de retorno a 1310 nm. Más tarde, a mitad de los 90, el desarrollo WDM permitía espaciamientos más cortos, implementando transporte bidireccional de 2x2 y 4x4 canales a 1550 nm, alcanzando velocidades de 2.5 Gbps en enlaces punto a punto. Finalmente, a finales de los 90, los sistemas densos (DWDM) llegaron a ser una realidad cuando un gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2.5 Gbps y 10 Gbps. Aun así, pronto veremos los sistemas ultra-densos (UDWDM) con transmisión de 128 y 256 longitudes de onda a 10 Gbps y 40 Gbps por canal, ya que la infraestructura actual de fibra óptica no será suficiente para cubrir la demanda.

La multiplexación en longitud de onda se desarrolló a gran velocidad para cubrir una necesidad a corto plazo, lo que no se desarrolló a tal ritmo fue la infraestructura asociada. Así, el más común de los usos de la fibra sigue siendo el enlace punto a punto.

Mediante el uso de la tecnología DWDM, 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 SONET, 1.344 señales T1 se transmiten por un par de fibras. Empleando la tecnología WDM y el mismo par de fibras, se llegan a transmitir hasta 53.760 señales T1.

Para el año 2010, se predice que la demanda por suscriptor estará en el orden de los 100 Mbps, lo cual no será posible sin el desarrollo de redes de fibra ópticas con DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa). DWDM es hoy día, una de las más efectivas respuestas a la creciente necesidad por el ancho de banda que está siendo generada por el explosivo crecimiento de la Internet.

2.1.- Principios Basicos

2.1.1.- Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).

Las telecomunicaciones han utilizado ampliamente las técnicas ópticas donde la modulación de la onda permite la transmisión de señales analógicas o digitales hasta unos pocos gigahertz o gigabits sobre una portadora de muy alta frecuencia, típicamente de 186 a 196 THz. La tasa de transmisión se puede incrementar si se emplea varias ondas portadoras que se estén propagando sobre la misma fibra. Es obvio que cada frecuencia corresponde a diferentes longitudes de onda, donde esta técnica es llamada Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) o Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM), donde el último termino es el más empleado.

El término Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM) es empleado cuando el espacio entre canales es muy pequeño, típicamente menor de 100 GHz que corresponde a 0.8 nm en longitudes de ondas cercanas a los 1500 nm. El término WDM se emplea cuando la cantidad de canales máximo es de ocho.

Con WDM, es posible acoplar fuentes de luz de diferentes longitudes de ondas ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$) en una misma fibra óptica. Después de la transmisión sobre la fibra, las señales ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$) pueden ser separadas desde el extremo de la fibra hacia diferentes detectores (Figura 2.1).

El componente de entrada (multiplexor) debe inyectar la señal proveniente de diferentes fuentes en la fibra con mínimas pérdidas. El componente que va a separar las longitudes de ondas es el demultiplexor. Un simple acoplador óptico puede reemplazar el multiplexor, pero las pérdidas incrementarían. La multiplexación simultanea de canales de entrada y demultiplexación de canales de salida puede ser ejecutada por el mismo componente, el mux/demux.

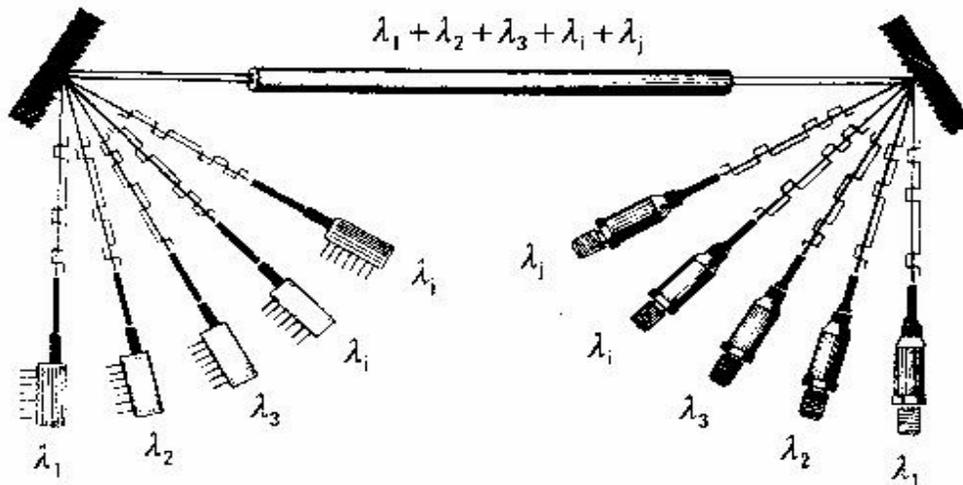


Figura 2.1 Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).

Los multiplexores que se utilizan para WDM pueden ser unidireccionales o bidireccionales. En los primeros, las señales se transmiten en una misma dirección con varias portadoras ópticas de diferente longitud de onda. Los bidireccionales transmiten la información en dos sentidos sobre la misma fibra, utilizando diferente longitud de onda para cada sentido. Desde hace más de una década la presencia de dos longitudes de ondas dentro de una fibra ha existido. Esto se evidencia con la transmisión combinada de los 1310 nm y los 1550 nm.

2.1.2.- Dominio de la Longitud de Onda y la Separación entre Canales.

Con las modernas fibras y comercialmente disponible para las telecomunicaciones es posible transmitir información sobre un rango espectral amplio, en la figura 2.2, se muestra el espectro de la curva de atenuación de una típica fibra óptica hecha de silicio, la cual tiene tres características principales. Una gran tendencia de atenuarse conforme se incrementa la longitud de onda (Dispersión Rayleigh), atenuación en los picos de absorción asociados con el ión hidroxil (OH-) y una tendencia por la atenuación al incrementar las longitudes de onda por arriba de los 1600 nm, debidas a las pérdidas inducidas por la absorción del silicio.

Los nuevos sistemas de transmisión usan fibras multimodo, operadas en la primera ventana de longitud de onda cercana a los 850 nm, y después en la segunda ventana cerca de los 1300 nm. Una fibra de monomodo principalmente opera en la segunda ventana, donde la atenuación de la fibra es típicamente menor que 0.35 dB/Km. Sin embargo, la región de menos pérdida (típicamente cercana a los 0.20 dB/Km) permanece en una longitud de onda amplia y los láseres y receptores operan en esa ventana cercana a los 1550 nm.

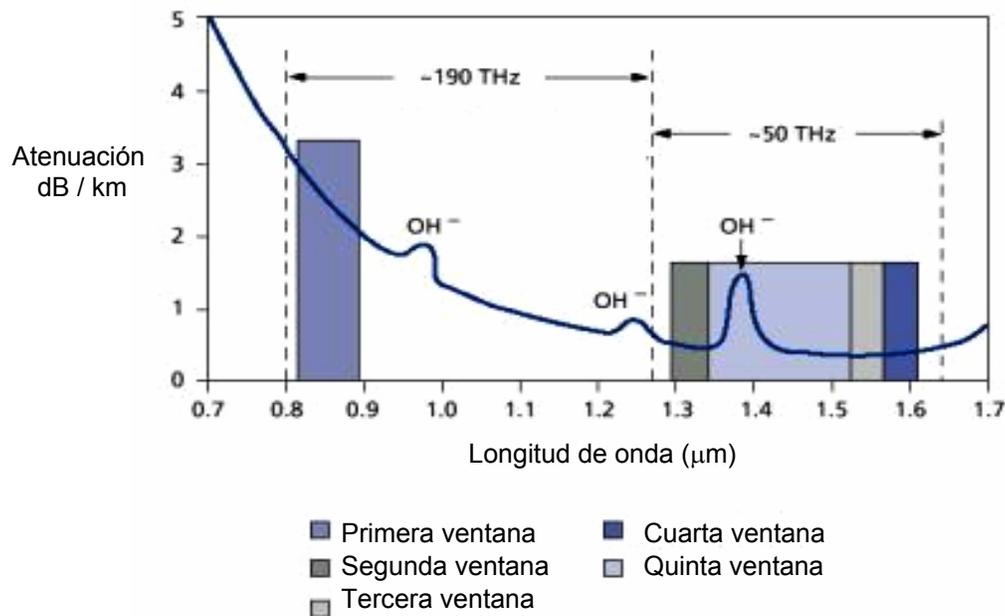


Figura 2.2 Atenuación de una típica fibra óptica hecha de silicio.

En la recomendación UIT-T G.652 se especifica una fibra monomodo cuyas pérdidas son menores a los 0.4 dB/Km en los 1550 nm y menores a los 0.5 dB/Km en los 1310 nm. Para transmitir empleando DWDM sobre grandes y medianas distancias generalmente se emplean fibras monomodo en el dominio de 1520 nm a 1620 nm, debido básicamente a la disponibilidad de eficientes emisores y amplificadores ópticos. Para aplicaciones como las redes de área metropolitana existen comercialmente fibras monomodo especiales que tienen un bajo contenido de OH, pudiendo ser usadas desde los 1335 nm a los 1625 nm.

En las fibras multimodo, un diseño de un índice gradual permite una disminución de la dispersión, pero el perfil óptimo depende mayormente de la longitud de onda y el material, y la dispersión varía con la longitud de onda.

En la mayoría de las redes instaladas que emplean DWDM, la separación entre canales es actualmente mayor o igual a 0.8 nm. La UIT-T propuso una canalización de frecuencias con separaciones de 100 GHz (alrededor de los 0.8 nm) con múltiplos y submúltiplos. Actualmente el mínimo espaciado alcanzado entre canales es de 0.1 nm. Sin embargo, a comienzos del siglo XXI, nada menor a los 0.2 nm (25 GHz) de espaciado estuvo comercialmente disponible.

Hay limitaciones a las cuales WDM está expuesto, como son el crosstalk (luz parásita), el cual es el principal problema, y se genera de los defectos técnicos en los demultiplexores, así como también de problemas físicos tales como la conversión de la longitud de onda a lo largo de la fibra de transmisión por efectos como la mezcla de las cuatro ondas (FWM), el efecto de Raman o Brillouin y otros efectos no lineales.

El otro principal problema que limita la cantidad de canales en WDM es la disposición de fuentes que sean lo suficientemente estables y sintonizables.

2.1.3.- Ubicación de las Longitudes de Ondas.

La UIT-T en su recomendación G.692 especifica la canalización de las frecuencias referenciadas en la frecuencia de 193.100 THz (1552.524 nm) con espaciados sugeridos de 100 GHz (0.8 nm), 200 GHz (1.6 nm), y 50 GHz (0.4 nm). Este rango puede ser extendido a la banda L que va desde 191.4 THz a 185.9 THz, que es donde las fuentes y amplificadores están disponibles actualmente. La canalización de frecuencias para la banda C y L se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Estándar de Frecuencias con sus Correspondientes Longitudes de Ondas

Banda C	(196.1-192.1 THz)	Banda L	(191.4-185.9 THz)
Frecuencia (THz)	Longitud de onda en el vacío (nm)	Frecuencia (THz)	Longitud de onda en el vacío (nm)
196.1	1,528.77	191.4	1,566.31
196	1,529.55	191.3	1,567.13
195.9	1,530.33	191.2	1,567.95
195.8	1,531.12	191.1	1,568.77
195.7	1,531.9	191	1,569.59
195.6	1,532.68	190.9	1,570.42
195.5	1,533.47	190.8	1,571.24
195.4	1,534.25	190.7	1,572.06
195.3	1,535.04	190.6	1,572.89
195.2	1,535.82	190.5	1,573.71
195.1	1,536.61	190.4	1,574.54
195	1,537.4	190.3	1,575.37
194.9	1,538.19	190.2	1,576.2
194.8	1,538.98	190.1	1,577.03
194.7	1,539.77	190	1,577.86
194.6	1,540.56	189.9	1,578.69
194.5	1,541.35	189.8	1,579.52
194.4	1,542.14	189.7	1,580.35
194.3	1,542.94	189.6	1,581.18
194.2	1,543.73	189.5	1,582.02
194.1	1,544.53	189.4	1,582.85
194	1,545.32	189.3	1,583.69
193.9	1,546.12	189.2	1,584.53
193.8	1,546.92	189.1	1,585.36
193.7	1,547.72	189	1,586.2
193.6	1,548.51	188.9	1,587.04
193.5	1,549.32	188.8	1,587.88
193.4	1,550.12	188.7	1,588.73
193.3	1,550.92	188.6	1,589.57
193.2	1,551.72	188.5	1,590.41
193,1	1,552.52	188.4	1,591.26
193	1,553.33	188.3	1,592.1
192.9	1,554.13	188.2	1,592.95
192.8	1,554.94	188.1	1,593.79
192.7	1,555.75	188	1,594.64

Tabla 2.1 (continuación)

Banda C	(196.1-192.1 THz)	Banda L	(191.4-185.9 THz)
Frecuencia (THz)	Longitud de onda en el vacío (nm)	Frecuencia (THz)	Longitud de onda en el vacío (nm)
192.6	1,556.55	187.9	1,595.49
192.5	1,557.36	187.8	1,596.34
192.4	1,558.17	187.7	1,597.19
192.3	1,558.98	187.6	1,598.04
192.2	1,559.79	187.5	1,598.89
192.1	1,560.61	187.4	1,599.75
—	—	187.3	1,600.6
—	—	187.2	1,601.46
—	—	187.1	1,602.31
—	—	187	1,603.17
—	—	186.9	1,604.03
—	—	186.8	1,604.88
—	—	186.7	1,605.74
—	—	186.6	1,606.6
—	—	186.5	1,607.47
—	—	186.4	1,608.33
—	—	186.3	1,609.19
—	—	186.2	1,610.06
—	—	186.1	1,610.92
—	—	186	1,611.79
—	—	185.9	1,612.65

2.1.4.- Conversión de Frecuencia Óptica / Longitud de Onda Óptica.

Generalmente se prefiere representar las vibraciones de la luz en función la longitud de onda en el vacío (la longitud de onda varia con el medio) o de acuerdo a su frecuencia (no varia con el medio). Con el fin de poder evaluar los diferentes resultados generados en los trabajos científicos, es muy útil y sencillo realizar las translaciones entre la longitud de onda óptica y la frecuencia óptica. Por lo tanto se tiene:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

Donde c es la velocidad de la luz ($c= 2.9972458 \cdot 10^8$ m/s) y λ es la longitud de onda en el vacío, y ν es la frecuencia óptica. Entonces:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c} \Delta\nu \quad (2.2)$$

Por lo tanto, para un espaciamiento de 100 GHz en una longitud de onda de 1550 nm, se tiene un espaciamiento equivalente de 0.8 nm. Para la determinación de las frecuencias de las portadoras se calculan empleando la fórmula dada por la UIT-T, es decir:

$$\nu = \nu_{ref} + N(100GHz) \quad (2.3)$$

Donde:

$$N = -10, -9, \dots, 30 \quad y \quad \nu_{ref} = 193.1THz$$

2.1.5.- Algunas Definiciones.

2.1.5.1.- Dispersión Cromática.

Describe la tendencia para diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes de onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual puede producir una inaceptable velocidad de bit, la figura 2.3, muestra como la dispersión cromática cambia con la longitud de onda para tres diferentes tipos de fibra. La dispersión cromática de una fibra consiste de dos componentes: material y guía de onda, como se muestra en la figura 2.4.

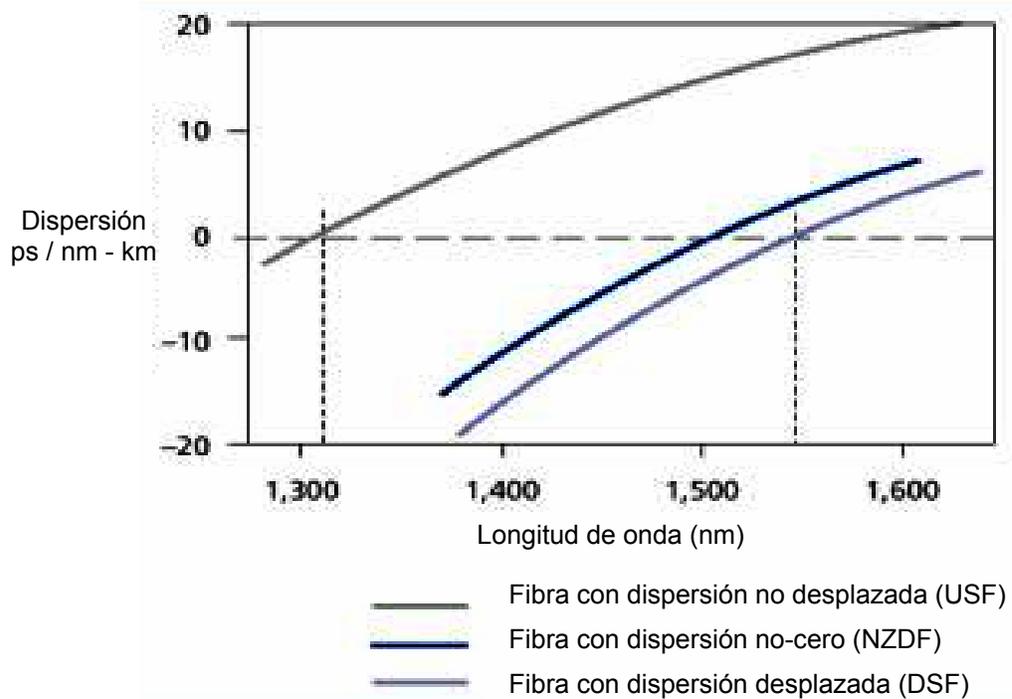


Figura 2.3 Gráfica de la dispersión cromática contra longitud de onda.

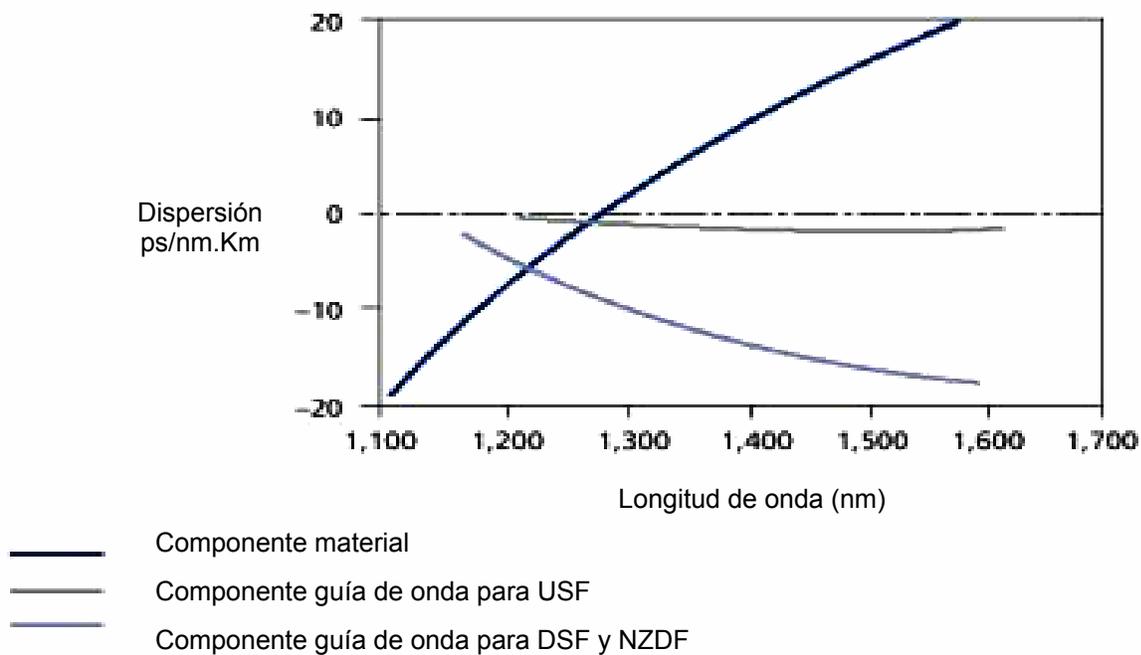


Figura 2.4 Componentes de dispersión de los materiales y guías de ondas.

El componente material depende de las características de dispersión de los dopantes y del silicio de construcción. Estos materiales no ofrecen mucha flexibilidad a ajustes significantes en la dispersión de la fibra, así que ese esfuerzo se ha enfocado en alterar la dispersión de guías de ondas de las fibras ópticas.

2.1.5.2.- Dispersión por Modo de Polarización (PMD).

La birrefringencia de los materiales cristalinos va a causar que en una señal óptica (monocromática) sea separada en dos señales ortogonalmente polarizadas, donde cada una viaja a velocidades diferentes. Lo mismo ocurre, si un pulso óptico de una señal óptica modulada viaja en una fibra birrefringente o en un componente birrefringente; el pulso es separado en dos pulsos, cada uno viajando a diferentes velocidades y con diferente polarización. Entonces, cuando las dos señales son recombinadas ocurre un ensanchamiento del pulso debido a la variación en el tiempo de llegada (Figura 2.5). Este es el fenómeno conocido como dispersión por el modo de polarización (PMD), y es notable cuando la velocidad de transmisión es alta (por encima de 2.5 Gbps).

Las fibras ópticas tienen un coeficiente de dispersión del modo de polarización menor a los $0.5 \text{ ps/Km}^{1/2}$ (Ejemplo: ITU-T G.652, G.653, y G.655). Para una señal de una velocidad alrededor de los 10 Gbps, este coeficiente PMD va a limitar la longitud de la fibra a 400 Km [2].

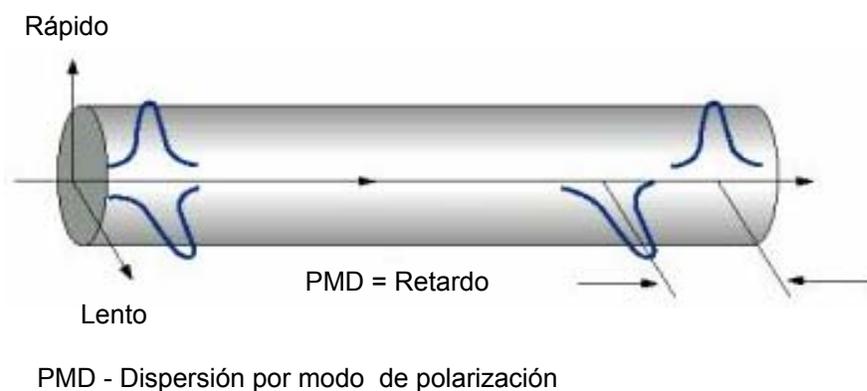


Figura 2.5 PMD en una fibra monomodo cuya asimetría es uniforme a lo largo de su longitud.

2.1.5.3.- Espaciamiento del canal en el Mux/Demux.

Se refiere al espacio entre canales en el dispositivo de acuerdo a la canalización de frecuencias establecida en la recomendación G.692 de la ITU-T. El espaciamiento de canal usualmente se define en nanometros (nm) o gigahertz (GHz).

2.1.5.4.- Uniformidad del Canal.

Se refiere a la diferencia existente entre la pérdida de inserción en el peor caso (máxima) y el mejor caso (mínima) sobre todos los canales del dispositivo mux/demux. Las pérdidas de inserción están definidas dentro del pasabanda especificado y centrado en la frecuencia de canalización especificada por la UIT-T. Especificar la uniformidad del canal es esencial, ya que asegura que todos los canales tendrán relativamente una pérdida uniforme.

2.1.5.5.- Canal Pasabanda.

Es el punto de referencia bajo el cual todas las medidas ópticas son realizadas. Pasabanda se refiere al ancho de banda operacional disponible de la respuesta espectral. El pasabanda siempre esta referido a la longitud de onda central (CWL) definido por la UIT-T, el cual puede estar expresado en términos de la frecuencia (GHz) o de la longitud de onda (nm). Por ejemplo, si un pasabanda esta especificado en X, el ancho operacional del pasabanda es ITU CWL+ $\frac{1}{2}$ X y ITU CWL- $\frac{1}{2}$ X.

También es importante destacar que un pasabanda va a definir las características y los tipos de láseres a ser diseñados para el sistema, de manera que tanto la estabilidad de la longitud de onda y el ancho de la línea modulada del láser no excedan el pasabanda especificado, ya que esto generaría distorsión y pérdida de señal, lo cual afectaría el desempeño de todo el sistema. Algunas hojas de especificaciones definen el ancho de banda de una respuesta espectral

gaussiana en 3 dB únicamente, lo cual puede ser muy vago para la arquitectura de un sistema.

2.1.5.6.- Forma del Pasabanda.

La forma del pasabanda se refiere a la forma de la respuesta espectral dentro del pasabanda definido. Los tipos de respuesta espectral más comúnmente conocidos son la gaussiana (Figura 2.6) y el “flat” o plano. Una respuesta espectral plana puede tener una mayor pendiente y puntos dentro del pasabanda de una respuesta espectral gaussiana.

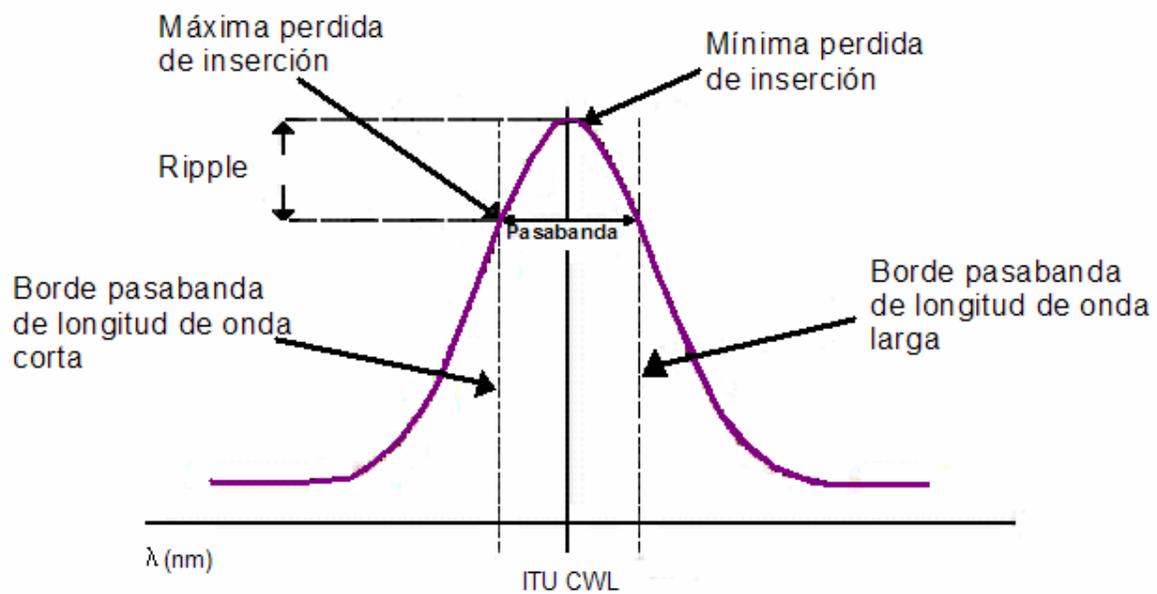


Figura 2.6 Respuesta espectral gaussiana.

2.1.5.7.- Uniformidad del Pasabanda (Ripple).

Se refiere a la diferencia entre la máxima y la mínima pérdida de inserción dentro del pasabanda especificado. Esto es una caracterización de la máxima variación de las pérdidas de inserción dentro del pasabanda especificado del mux/demux

expresado en términos de dB. Dependiendo del esquema de modulación empleado en el sistema, la uniformidad del pasabanda puede o no crear distorsión en la señal. La calidad de la transmisión depende de la inclinación de la pendiente de la respuesta espectral y de cuanto es la variación existente entre la máxima y mínima pérdida de inserción en la longitud de onda operacional del láser. Típicamente la modulación del láser es analógica o QAM (modulación en amplitud y cuadratura), lo cual requiere relativamente una respuesta espectral “flat”, en cambio, un láser modulado digitalmente puede operar con una respuesta espectral con pendiente pequeña o grande.

2.1.5.8.- Pérdidas de Inserción.

Es la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de cada canal para el dispositivo mux/demux. Por ejemplo, el multiplexor debe combinar las señales con mínimas pérdidas. Estas pérdidas P_j son expresadas en decibeles (dB) en cada longitud de onda λ_j por:

$$P_j = 10 \log \left(\frac{\phi_j}{\phi_0} \right) \quad (2.4)$$

Donde ϕ_j es la potencia óptica inyectada en la línea de transmisión y ϕ_0 es la potencia incidente en λ_j .

Las pérdidas de inserción es una de las especificaciones más importantes para determinar la máxima distancia entre los nodos de la red.

2.1.5.9.- Crosstalk Optico.

El crosstalk Optico puede ocurrir dentro de los dispositivos del sistema como filtros, acopladores, conmutadores o multiplexores, como también puede ocurrir dentro de la fibra a través de los efectos no lineales. Dos tipos de crosstalk ocurren en los dispositivos del sistema:

- El crosstalk intercanal proviene de la interferencia de canales que están fuera del ancho de banda eléctrico del receptor.
- El crosstalk intracanal proviene de los canales que están dentro del ancho de banda eléctrico del receptor.

Para determinar el crosstalk D_{ij} de un canal i sobre un canal j se tiene la siguiente ecuación:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{\phi_{ij}}{\phi_{jj}} \right) \quad (2.5)$$

Donde ϕ_{ij} es la potencia óptica residual del canal i de la longitud de onda λ_i en el canal j y ϕ_{jj} es la potencia óptica de salida en el canal j de la longitud de onda λ_j . El cruce de canal óptico total en el canal j es:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{\sum_{i \neq j} \phi_{ij}}{\phi_{jj}} \right) \quad (2.6)$$

Este problema se debe meramente al demultiplexor cuando las fuentes con un ancho espectral mucho más pequeño que el espectro del pasabanda del multiplexor es utilizado. El crosstalk puede ser generado por canales adyacentes o canales no adyacentes. Es muy importante considerar en la arquitectura del sistema el nivel del crosstalk generado por un canal adyacente, ya que junto a la dispersión cromática y a las contribuciones del ruido, como el ASE (emisión espontánea amplificada), pueden afectar negativamente la sensibilidad del receptor, lo cual a su vez, compromete la longitud del sistema. El crosstalk debido a los canales no adyacentes se caracteriza por una interferencia en banda y mínima, la cual es calculada desde los dos canales a la izquierda y la derecha del canal que esta bajo medición o prueba (Figura 2.7).

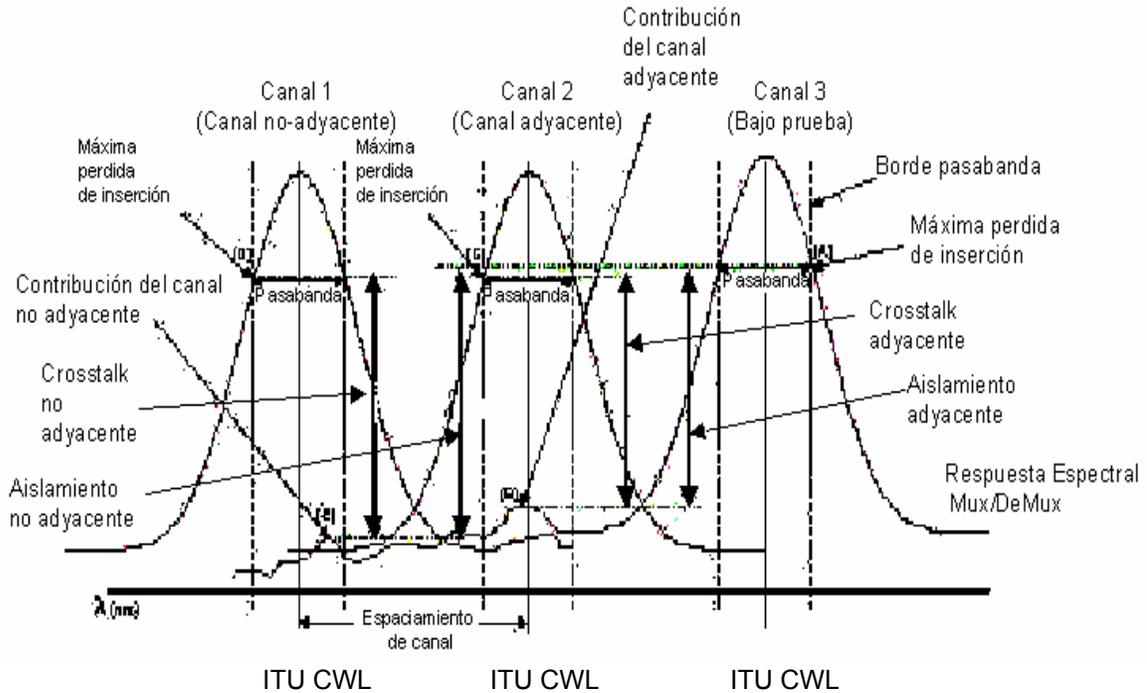


Figura 2.7 Medidas del crosstalk y aislamiento en un Mux/Demux con respuesta espectral gaussiana.

2.1.5.10.- Pérdidas de Retorno.

Se refiere a la porción de la potencia de la señal óptica entrante que se va a reflejar hacia el puerto de entrada que esta bajo prueba. Una alta pérdida de retorno puede causar una distorsión en el sistema. Esta también puede generar un ruido adicional dentro del sistema cuando se combina con el crosstalk, y por ende afecta la relación señal óptica a ruido (OSNR), la cual reduce la calidad de la transmisión.

2.1.6.- Propagación de Solitones en Fibras Ópticas.

La fibra óptica atenúa la luz que se propaga dentro de su núcleo por la absorción del material (sílice) y por la difusión de Rayleigh. Trabajando en el nivel de la ventana de 1550 nm, las pérdidas son reducidas a los límites teóricos impuestos

por la difusión de Rayleigh, generándose atenuaciones en el orden de los 0.2 dB/Km [1]. Para compensar esta atenuación se utilizan amplificadores de fibras ópticas dopadas con Erbium (caso todo óptico), los cuales consideran la ventaja de la amplificación de la luz incidente por emisión estimulada. Así las pérdidas dentro de cada sección de fibra serán perfectamente compensadas por el amplificador.

La atenuación no es el único problema que existe, ya que para los enlaces como los de ultra larga distancia, la señal óptica se ve afectada por la dispersión cromática y los efectos no lineales. La dispersión cromática introduce un efecto de alargamiento temporal de los impulsos ópticos a lo largo de su propagación y amenaza con reducir la tasa de bits a algunas decenas o centenas de Mbps.

Una primera solución para contra restar este problema es el empleo de fibras de dispersión corrida. Estas fibras permiten trabajar sobre las longitudes de onda de mínima atenuación y a una velocidad de grupo cuasi nula. Los sistemas llamados “todos ópticos” funcionan según este principio y utilizan modulaciones NRZ. Por otro lado, se tiene que la acumulación de los efectos no lineales a lo largo de la línea de transmisión va a limitar al sistema deformando el espectro de los impulsos.

Una segunda solución, consiste en colocarse en el régimen de dispersión cromática positiva, lo cual retira la ventaja de la ligera no-linealidad del índice de la fibra. Es dentro de este régimen de propagación donde se generan los “solitones”, que conservan a lo largo de su trayectoria su forma espectral y temporal así como su polarización y esto gracias a la compensación mutua entre la dispersión cromática y el efecto Kerr (no lineal).

La dispersión cromática dentro de la fibra óptica juega un papel muy importante para la propagación de impulsos ópticos muy cortos debido al hecho de que sus componentes espectrales se propagan a velocidades diferentes provocando un alargamiento del impulso.

La dispersión se traduce por el hecho de que el índice de refracción de la fibra depende de la frecuencia ($n = n(\omega)$). Esto implica una dispersión dentro de la

velocidad de propagación ($v = c / n(\omega)$) de los diferentes componentes espectrales y por ende un alargamiento de los impulsos.

Por otro lado, dentro de un enlace “todo óptico”, la señal no es regenerada en línea, y además si este enlace es de distancia ultra larga, el ruido acumulado en la recepción se vuelve importante. Entonces, hay que generar impulsos con niveles de potencia relativamente importante para que estos puedan sobrepasar los niveles de ruido. Así estos altos niveles de potencia inyectados dentro de la fibra inducen efectos no lineales: el efecto Kerr, el efecto de la dispersión estimulada de Raman y el efecto de la dispersión estimulada de Brillouin.

El efecto Kerr del cual no nos podemos liberar dentro de los sistemas amplificados de varios miles de kilómetros, se traduce en una ligera dependencia del índice de refracción con la intensidad del campo eléctrico aplicado (potencia inyectada). Esto implica que los diferentes componentes de un impulso van a desplazarse a velocidades diferentes en función de su potencia.

Dentro de una fibra óptica, los efectos de dispersión y no-linealidad actúan simultáneamente sobre el impulso. La influencia sobre estos depende del signo del parámetro de dispersión D .

En régimen de dispersión normal ($D < 0$): los efectos dispersivos y no lineales actúan dentro del mismo sentido y conducen a un alargamiento aun más importante del impulso y su espectro.

En régimen de dispersión anormal ($D > 0$): los efectos no lineales y dispersivos actúan en sentido opuesto.

Es muy importante destacar, que se ha llevado a cabo mucho trabajo sobre la teoría y tecnología de solitones, pero no se han obtenido todavía resultados espectaculares, en comparación con los obtenidos mediante pulsos dispersivos. Para ilustrar esto, se puede decir que se ha conseguido en laboratorio la propagación de señales de 10 Gb/s a lo largo de un millón de kilómetros y en red real la propagación de señales de 40 Gb/s a distancias de 4000 Km.

2.1.7.- Características de Modulación y Detección de un Sistema WDM/DWDM.

En los sistemas de transmisión por fibra óptica, como en los sistemas convencionales, la información es transmitida modulando una portadora luminosa, la cual puede hacerse con señales eléctricas analógicas o digitales. En el caso análogo, la intensidad del haz luminoso emitido varía continuamente, en tanto que en el caso de la modulación digital, la intensidad de luz tiene variaciones discretas en forma de pulsos luminosos del tipo on-off (OOK). Los sistemas de transmisión por fibra ópticas del tipo digital, involucran el uso de un codificador, donde la señal digital que viene de la fuente de información es codificada convenientemente para la transmisión óptica, y de un decodificador óptico que en recepción se encarga de decodificar la información digital original. Esta relativa mayor complejidad de los sistemas digitales es largamente compensada, en la práctica, por su gran desempeño en términos de capacidad de transmisión (banda pasante) del enlace.

2.1.7.1.- Modulación Óptica.

Un sistema básico de transmisión de luz por fibra óptica incluye una fuente de luz, una fibra óptica y un fotodetector. La información proveniente del circuito excitador es transformada en señales luminosas a través de la fuente de luz. Estas señales luminosas son propagadas a través de la fibra óptica y recogidas por el detector que las reconvierte en señales eléctricas siendo finalmente amplificadas y/o procesadas por el circuito de salida.

Para convertir un sistema de transmisión de señales luminosas en un sistema de comunicación, deberán ser incluidos el modulador y demodulador respectivo. En el caso más común, el de la modulación directa o de intensidad luminosa, la potencia óptica emitida es controlada por la corriente inyectada junto con la corriente de polarización. En el caso de modulación coherente algún parámetro (fase, frecuencia, amplitud o polarización) del campo emitido, es modulado por la información.

2.1.7.1.1.- Modulación de Intensidad (IM).

Dentro del sistema de modulación se pueden distinguir las siguientes formas de modulación que usan un determinado parámetro que caracteriza el envío de información directamente por el láser, la modulación on-off, por desplazamiento de frecuencia (FSK) y por desplazamiento de amplitud (ASK).

Como en definitiva es el láser el que finalmente será modulado se le debe prestar especial atención. En el láser las pérdidas ópticas son compensadas con la amplificación coherente de la luz en el interior del resonador óptico a través de emisión estimulada (el fotón posee longitud de onda y fase en concordancia con las ya presentes). Para producir este efecto el diodo láser debe ser polarizado a cierta corriente mínima, esta corriente recibe el nombre de corriente de umbral (I_{TH}), la cual provee suficiente ganancia óptica para compensar las pérdidas del resonador. La operación por debajo de I_{TH} provoca que el diodo láser emita luz incoherente, como en el caso de los LED. Además provoca la ocurrencia de oscilaciones en amplitud del pulso óptico llamado oscilación de relajación, por sobre el umbral el diodo láser funciona como un oscilador coherente y emite potencia óptica con un agudo incremento conforme aumenta la corriente de conducción (Figura 2.8).

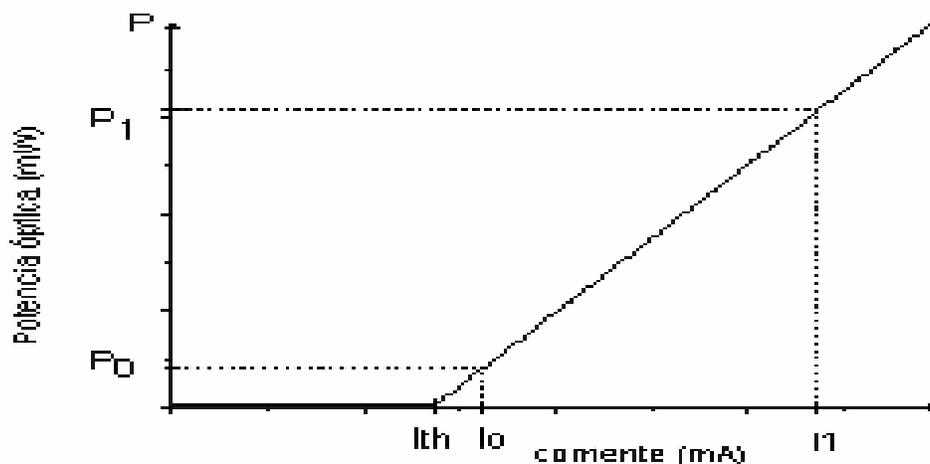


Figura 2.8 Curva característica del diodo láser.

La corriente de umbral es dependiente de la temperatura del diodo láser, del ancho de su zona activa y de diversos diseños de construcción. A partir de I_{TH} es posible determinar la razón o radio de extinción, la cual es definida como:

$$r = \frac{P_0}{P_1} \quad (2.7)$$

Donde, P_1 representa el nivel de potencia medio para el "1" y P_0 representa el nivel de potencia medio para el "0".

El valor de la razón de extinción se determina de forma de no comprometer la vida útil del láser y respetar las normas de seguridad en caso de roturas en la fibra. El nivel de potencia del bit "0" es mucho menor que para el bit "1". De la figura 2.8 se tiene que:

$$I_1 = I_{BIAS} + I_M \quad (2.8)$$

$$I_0 = I_{BIAS} \quad (2.9)$$

Donde, I_{BIAS} es la corriente de polarización e I_M es la corriente de modulación.

Bajo esta modulación, la frecuencia del diodo láser experimenta una variación indeseada en frecuencia llamada chirping, que esta asociada con la modulación del diodo láser por la variación de la corriente inyectada. Ella es causada por la dependencia del índice de refracción del material semiconductor de la región activa con la densidad de portadores inyectados. El aumento de la corriente inyectada hace crecer la densidad de portadores, el que hace caer el índice de refracción, por lo tanto, la longitud de onda emitida. Como los desvíos de frecuencia acompañan la densidad de portadores, que es fuertemente sujeta a transientes, hay que distinguir entre el chirping básico o adiabático, el que está asociado a la duración completa del pulso óptico, y el chirping transiente, el que está asociado a los transientes (subida y bajada) del pulso.

La figura 2.9, muestra la forma esquemática del efecto de dos componentes del chirping sobre el pulso óptico que se propaga por la fibra. La degradación más importante es la del chirping transiente, que hace que la parte precursora del pulso se adelante en la propagación, y la parte final se atrase, resultando en un pulso menos energético en una razón de extinción que no es favorable en el receptor.

Este efecto puede disminuir la capacidad de los sistemas de alta velocidad de transmisión. Se han propuesto varias técnicas para minimizar el chirp, algunas de estas son:

- Polarizar el láser sobre el umbral.
- Acoplar el láser a una cavidad externa.
- Modular el láser externamente.
- Compensar la señal en recepción a través de ecualización óptica o eléctrica.
- Formato del pulso de corriente moduladora.

Este chirping en frecuencia, asociado con la dispersión cromática de la fibra óptica monomodo, es causa de una severa degradación sistémica conocida con el nombre de crosstalk.

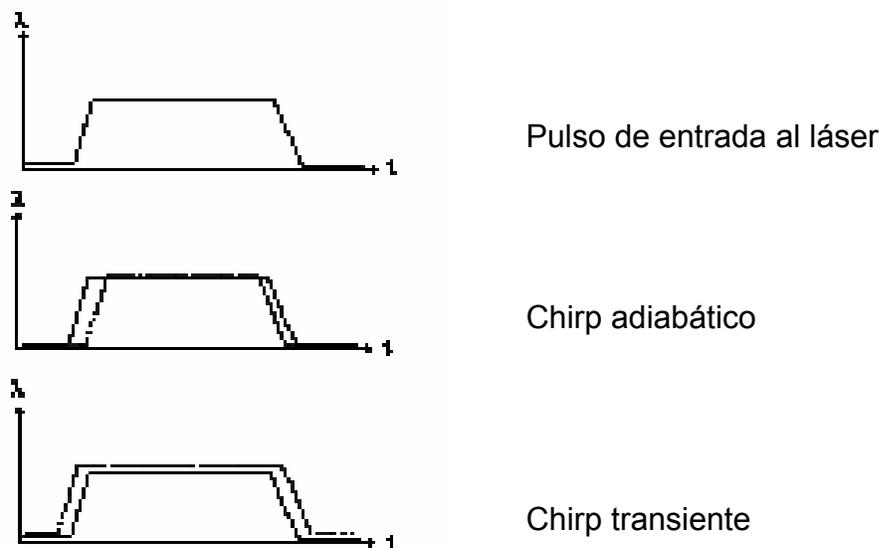


Figura 2.9 Efectos dispersivos del chirp sobre el pulso de salida del diodo láser.

2.2.- Demultiplexores y Multiplexores por División de Longitud de Onda Densa.

El componente crucial en un sistema WDM es el mux/demux de longitudes de onda, el cual idealmente debe ser diseñado y construido para generar bajas pérdidas de inserción, un bajo crosstalk entre canales, bajas pérdidas debidas a la polarización (PDL), así como también, una buena tolerancia a los desplazamientos de las longitudes de onda de los canales. Desde el punto de vista del sistema, este debe ser compacto, estable frente a los cambios de temperatura y ofrecer la mejor relación costo-beneficio.

2.2.1.- Componentes Pasivos Actualmente Disponibles.

La multiplexación por división de longitud de onda de alta densidad (HDWDM), típicamente tiene 32 canales con un espaciado de 100 GHz, y es ampliamente utilizado en las redes de telecomunicaciones ópticas. También esta disponible comercialmente los multiplexores por división de longitud de onda de muy alta densidad (VHDWDM), el cual esta conformado por 96 canales espaciados en 50 GHz (Figura 2.10).

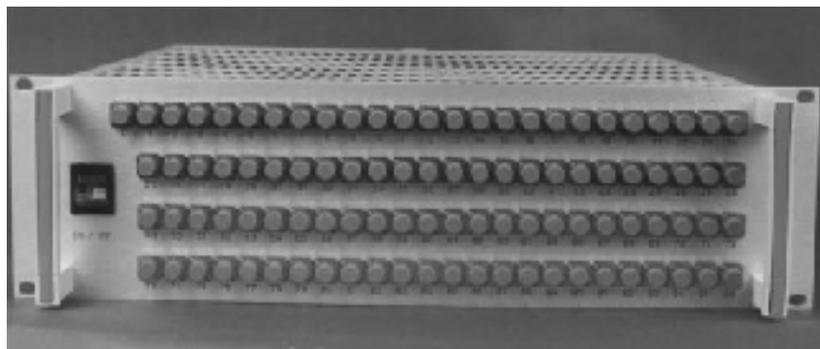


Figura 2.10 Multiplexor VHDWDM conformado por 96 canales espaciados en 50 GHz.

WDM como tecnología permite un crecimiento de la capacidad de la red a un costo razonable y proporcionando además la posibilidad de llevar a cabo un encaminamiento (routing) y una conmutación óptica. WDM también provee transparencia a las señales y flexibilidad en el diseño de grandes redes.

Hay un gran número de tecnologías disponibles en componentes pasivos para WDM con diferentes costos y desempeño. Entre las principales opciones están:

- Arreglo de Guías de Ondas (AWG).
- Rejillas de Difracción Cóncavas (CG).
- Fibra con rejillas de difracción de Bragg (FBG).
- Match-Zehnders en cascada.
- Filtros de película delgada (TFF).

Es importante destacar que el estado del arte de los mux/demux está conformado por las rejillas de difracción, el AWG, el FBG y los TFF.

2.2.2.- Multiplexación a Través del Uso del Prisma.

El prisma al igual que las rejillas de difracción son los mux/demux más tradicionales. Cuando en la superficie del prisma incide un flujo de luz policromático cada longitud de onda se refracta de manera diferente, esto es lo que se conoce como efecto arcoiris, en la salida óptica, cada longitud de onda es separada de otra siguiente por un pequeño ángulo de diferencia, donde una lente enfoca cada longitud de onda hacia el punto donde esta colocada una fibra para canalizar cada longitud de onda por vías diferentes (Figura 2.11). Hoy en día los sistemas WDM no utilizan a los prismas como mux/demux, debido a la poca capacidad de dispersar diferentes longitudes de onda.

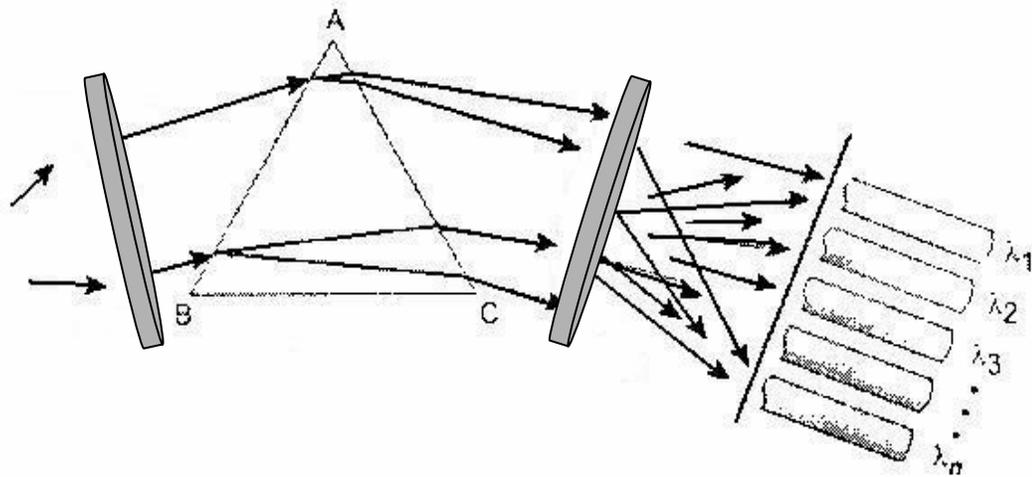


Figura 2.11 Proceso de demultiplexación/multiplexación a través de un prisma

2.2.3.- Arreglo de Guía de Onda (AWG).

Un mux/demux AWG estructuralmente esta conformado por una guía de onda de entrada, un acoplador de guía de onda de entrada, un arreglo de guías de onda, un acoplador de guías de onda de salida y las guías de onda de salida, los cuales están dispuestos sobre un substrato, como se muestra en la siguiente figura.

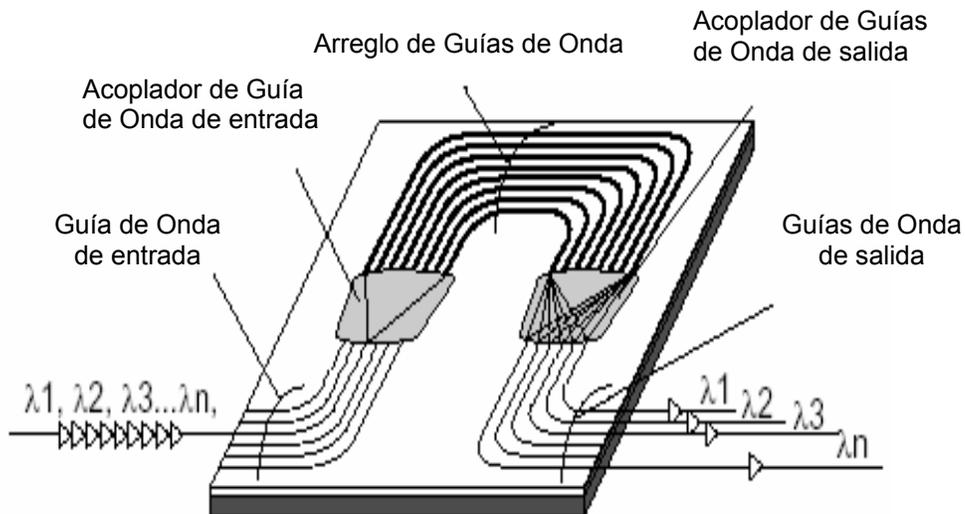


Figura 2.12 Estructura del AWG.

Cuando un AWG opera como un demultiplexor, la señal WDM que esta conformada por las longitudes de onda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$, se introducen por la guía de onda de entrada para luego ser difractada y difundida por el acoplador de entrada a cada una de las guías de onda del arreglo.

En el arreglo las guías de onda están dispuestas una al lado de la otra y con una diferencia de longitud tal que la diferencia de fase entre dos trayectos adyacentes es constante. Desde el punto de vista analítico, si n_c es el índice de la guía de onda, λ_v es la longitud de onda en el vacío, y ΔL es la diferencia de longitud entre dos guías de onda adyacentes, entonces la diferencia de fase sería:

$$\Delta\varphi = 2\pi n_c \Delta L / \lambda_v \quad (2.10)$$

De esta manera se puede obtener una interferencia constructiva, donde la máxima transmisión será cuando $\Delta\varphi = m2\pi$, (siendo m un número entero y también es llamado orden de difracción) en el eje de la zona de acoplamiento para:

$$\lambda_{\lambda_0} = n_c \Delta L / m \quad (2.11)$$

Entonces la señal que llega al acoplador de guías de onda de salida va a ser difundida y difractada hacia las guías de onda de salida en una dirección tal que los frentes de ondas van a estar alineados. El ángulo de difracción en el cual los frentes de ondas son alineados depende de la longitud de onda, de modo que las señales de diferentes longitudes de onda son cada una difractada en diferentes direcciones.

La descripción anterior relata la descripción de un AWG como un demultiplexor por división de longitud de onda, pero el mismo AWG puede ser usado como multiplexor, para ello la señal de cada longitud de onda debe ser introducida desde las guías de onda de salida, y la señal multiplexada se obtendrá en la guía de onda de entrada.

Para un dispositivo pasivo se pueden emplear guías de ondas de sílica sobre silicio o polímeros, aunque estos no son ideales para el diseño de dispositivos muy pequeños debido a su bajo contraste óptico y porque el radio de curvatura no puede ser más pequeño de unos milímetros. Para dispositivos activos integrados se utilizan materiales III-V, los cuales ofrecen un radio de curvatura mucho más pequeño (típicamente 500 μm).

2.2.3.1.- Dependencia de la Polarización.

Los arreglos de guías de ondas tienen dependencia de la polarización, la cual en parte se debe a la birefringencia de las guías de ondas. Esta birefringencia depende del material utilizado, y es alto cuando el sustrato está basado en InP, pero es bajo cuando la guía está hecha con sílica. En guías de ondas de SiO_2 sobre Si, es necesario tomar en cuenta la birefringencia residual resultante de una compresión causada por las diferentes expansiones térmicas de la capa de sílica y el sustrato de sílica. El efecto de la polarización puede ser cancelado a través del diseño de guía de ondas especiales.

2.2.3.2.- Desplazamientos Térmicos.

En los AWGs se generan corrimientos de frecuencias debido a la temperatura, por lo cual es relativamente importante controlarla, ya sea a través de un horno o un dispositivo de Peltier. Un AWG con sílica debe tener una temperatura controlada aproximadamente en 75 $^{\circ}\text{C}$. En los AWGs con sílica la variación de temperatura viene dada por:

$$d\lambda_{\nu 0} / dT \approx 0.012 \text{ nm} / ^{\circ}\text{C} @ 1550 \text{ nm}$$

Dado en frecuencia:

$$d\lambda_{\nu 0} / dT \approx -1.5 \text{ GHz} / ^{\circ}\text{C}$$

2.2.3.3.- Estado del Arte en los AWGs.

Es difícil diseñar AWGs con muchos canales sin que se produzca un crosstalk. Sin embargo, la colocación de los AWGs en cascada permite incrementar el número de canales con un crosstalk aceptable pero con un incremento de las pérdidas. Típicamente las pérdidas de inserción son < 5 dB y un crosstalk < -30 dB. Uno de los problemas que deben ser resueltos en estos dispositivos es la dispersión producto de los errores de la fase y amplitud generados durante la fabricación de las rejillas.

2.2.4.- Rejillas de Difracción.

Las rejillas de difracción son junto a los prismas los más antiguos dispositivos de separación de las componentes de una señal óptica, siendo ampliamente empleadas en el área de instrumentación espectroscópica. En WDM no se pueden utilizar filtros cuando el número de canales es muy alto o cuando las longitudes de ondas están muy cercanas. La principal ventaja de las rejillas es la simultánea difracción de todas las longitudes de ondas, así que es posible construir un dispositivo simple con un gran número de canales.

Una rejilla de difracción puede transmitir o reflejar luz y típicamente consiste de un substrato, normalmente un material óptico como la sílica, con una superficie ranurada mecánica o químicamente a través de procesos fotográficos o también holográficamente en combinación con procesos fotográficos. Sobre la superficie ranurada se deposita una capa refractiva, como por ejemplo aluminio, y después una capa de protección. La calidad y el espaciamiento de los surcos son factores cruciales para el desempeño de las rejillas.

Las rejillas tienen la propiedad de difractar la luz en una dirección relacionada a su longitud de onda (Figura 2.13). Entonces un rayo incidente con varias longitudes de ondas es angularmente separado en diferentes direcciones. De igual modo, varias longitudes de ondas $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, provenientes de diferentes

direcciones pueden ser combinadas en una sola dirección. El ángulo de difracción depende del espaciado de la ranura y del ángulo de incidencia.

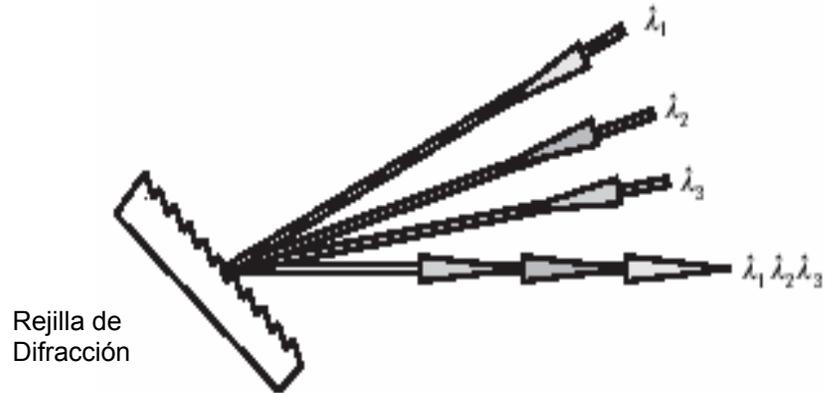


Figura 2.13 Principio de multiplexación por difracción en una rejilla óptica.

En la figura 2.14, se tiene un arreglo de ranuras equidistantes y transparentes y una onda plana incide en un ángulo con respecto a la perpendicular de la rejilla.

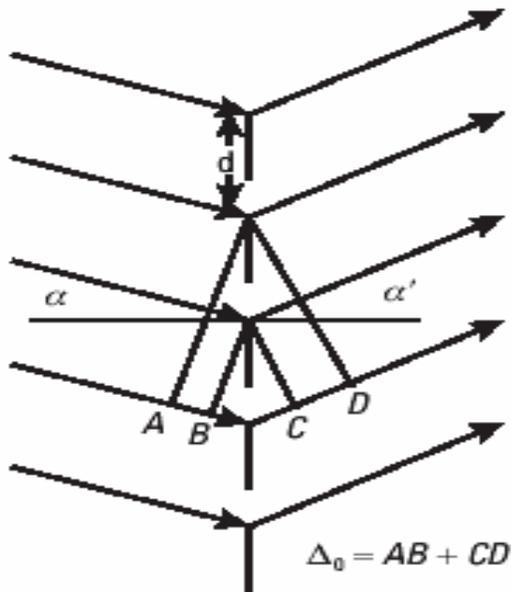


Figura 2.14 Cálculo de los ángulos del orden de difracción.

Cada ranura difracta la luz transmitida en la dirección α' , que es medida desde de la perpendicular de la rejilla, y las ondas provenientes de las diferentes ranuras estarán en fase si la diferencia del trayecto Δ_0 entre los sucesivos trayectos ópticos es:

$$\Delta_0 = d(\text{sen } \alpha + \text{sen } \alpha') = n\lambda \quad (2.12)$$

Donde n es un entero llamado orden de difracción, d es la distancia entre dos ranuras sucesivas y λ es la longitud de onda. La máxima resolución que se puede obtener es:

$$R_{smax} = \frac{\lambda}{d\lambda} = nN_0 \quad (2.13)$$

Donde N_0 es el número total de ranuras que usualmente es bastante grande, pudiendo así separar canales muy próximos unos de otros. La distribución de energía en cada orden, puede ser alterada por el cambio del ángulo entre las ranuras de la rejilla. La concentración de la energía refractada en un rango espectral dado puede ser obtenida a través del formato de las ranuras (tenemos así por ejemplo retículas triangulares y senoidales).

El caso de las rejillas de reflexión se describe en la figura 2.15, donde n_{out} es el índice de la parte externa de la rejilla, d es la distancia periódica entre las ranuras y α/α' son los ángulos de incidencia/difracción medidos desde la perpendicular N de la rejilla. La ecuación (2.12) quedaría modificada de la siguiente manera:

$$n_{out}d(\text{sen } \alpha + \text{sen } \alpha') = n\lambda \quad (2.14)$$

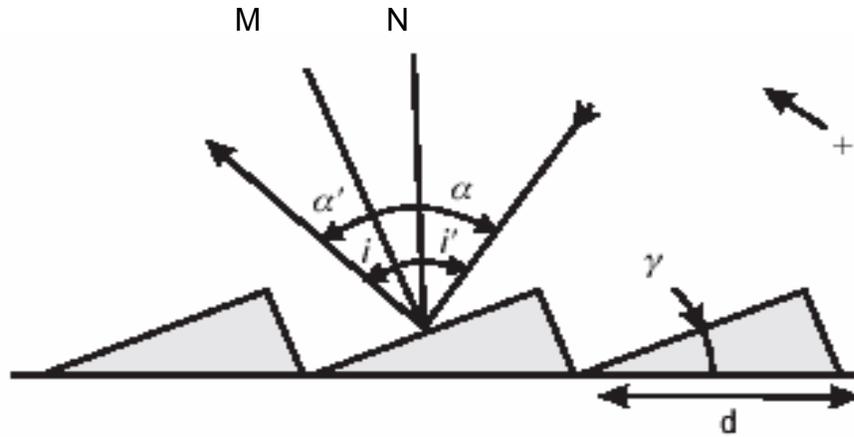


Figura 2.15 Rejilla plana de difracción.

A grandes rasgos se pueden dividir las rejillas de difracción en tres tipos: rejillas de reflexión planas, rejillas de transmisión planas y rejillas cóncavas. Las rejillas cóncavas mostradas en la figura 2.16, son generalmente usadas en reflexiones, y por lo tanto, usan las mismas ecuaciones que las rejillas planas.

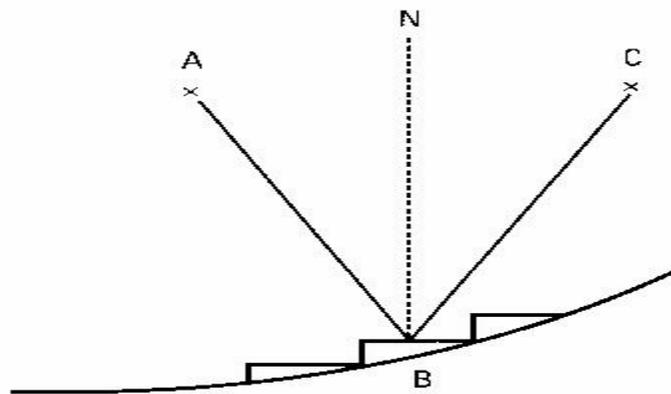


Figura 2.16 Rejilla cóncava de difracción.

El uso de las rejillas de difracción en las telecomunicaciones había estado limitado por las altas pérdidas dependientes de la polarización (PDL). Para contrarrestar el PDL, se utilizaba elementos controladores que incrementaban las pérdidas de inserción. Pero en la actualidad, los avances en el diseño de rejillas

de bajo PDL han conllevado al desarrollo de componentes mux/demux de bajas pérdidas (Figura 2.17). Estas rejillas de difracción pueden operar simultáneamente en las bandas de comunicación C y L (1520 – 1620 nm) con menos de 0.3 dB de PDL y una eficiencia de difracción absoluta de 80 a 85%. A través de los avances ópticos y el diseño mecánico se ha podido compensar los cambios en el índice de refracción y las expansiones térmicas mecánicas.

Los mux/demux contruidos con rejillas de difracción también van a generar un bajo crosstalk, son estables a los cambios de temperatura y tienen una buena relación costo beneficio

Entre las otras aplicaciones de las rejillas de difracción en las comunicaciones ópticas, son usadas como filtros y rotadores. Como dispositivos de filtrado son empleados en conjunto con una matriz de fotodetectores, de tal modo que cada componente de la señal óptica difractada por la rejilla sea recibido por un único elemento de la matriz de fotodetectores, el canal óptico se selecciona mediante conmutación eléctrica en la entrada del receptor, este tipo de montaje es conocido como rejilla de conmutación (switched grating).

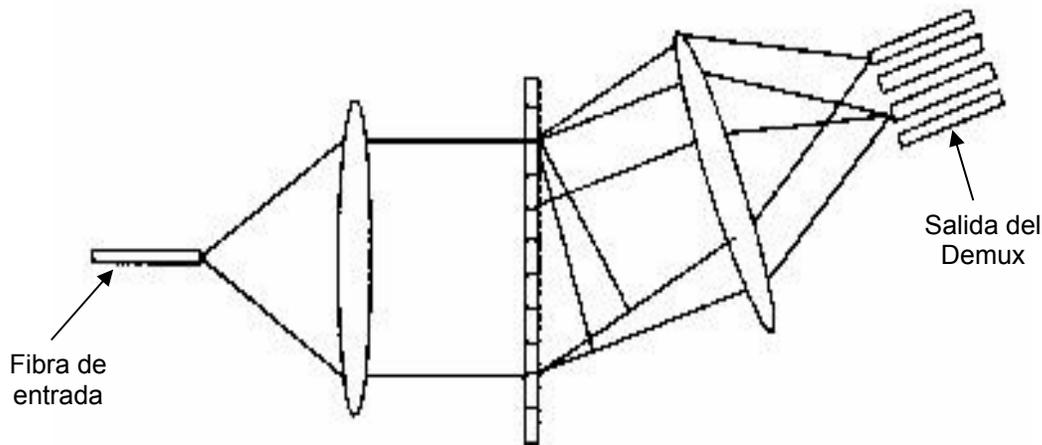


Figura 2.17 Mux/demux implementado con rejillas de difracción.

2.2.5.- Filtros Interferométricos Mach Zehnder (MZ).

Al contrario de los filtros Interferométricos de Fabry-Perot, donde el proceso de selección del canal se hace a través de la interferencia entre las múltiples reflexiones de la señal incidente, en los filtros Interferométricos de Mach-Zehnder el proceso de selección se basa en la interferencia de dos versiones de la misma señal de entrada que recorren caminos ópticos de longitudes ligeramente distintas ($n\Delta L$).

Un interferómetro MZ consiste de dos fibras con diferentes longitudes cuyas entradas y salidas son acopladas en cada extremo con acopladores direccionales de 3 dB, que respectivamente dividen y recombinan la señal óptica (Figura 2.18). Uno de los brazos del dispositivo tiene longitud L , en cambio el otro brazo posee una longitud de $(L+\Delta L)$.

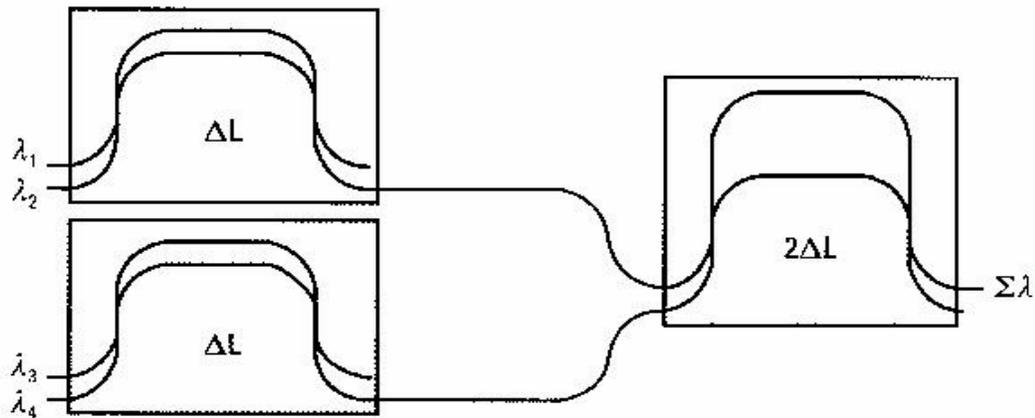


Figura 2.18 Interferómetros MZ en cascada.

El valor de ΔL es determinado por la condición de la diferencia de fase ($2\pi m$) entre los dos brazos para una longitud de onda dada (λ), y será (m) quien indique el orden del filtro, el cual puede ser un número entero o semi-entero. La diferencia de fase se expresa como:

$$\Delta\phi = \beta\Delta L \quad (2.15)$$

Donde β es la constante de propagación de las guías de ondas. Se tiene que la función de transferencia para un filtro Interferométrico MZ simple puede ser expresada como:

$$T_{SMZ}(f) = \cos^2(\Delta\phi) \quad (2.16)$$

Donde $\Delta\phi$ se vuelve a definir como:

$$\Delta\phi = \pi \frac{(f - f_c)}{FSR} \quad (2.17)$$

$$FSR = \frac{c}{n_g \Delta L} \quad (2.18)$$

Siendo n_g el índice de refracción de la guía de onda.

Para que el dispositivo seleccione cualquiera de los N canales de la red FDM/WDM es necesario una finesa elevada, que puede ser obtenida a través de la combinación en cascada de M filtros MZ simples, donde la relación entre el número de canales y el número de filtros se expresa como:

$$N = 2^M - 1 \quad (2.19)$$

Los M estados del filtro MZ son idénticos, es decir, poseen la misma diferencia de camino óptico entre sus brazos, en tanto las longitudes y la capacidad de acoplamiento de los acopladores direccionales entre cada estado son distintos.

La variación del camino óptico, y consecuentemente la sintonía del dispositivo, puede hacerse a través de la variación de la diferencia de longitud entre los brazos de cada estado en $\lambda/2$. Esta variación se puede hacer a través de la inclusión de secciones de cromo en toda la estructura planar guiada, que a través del efecto resistivo varía su longitud con la temperatura, alterando así el camino óptico.

Una de las grandes ventajas de los filtros MZ reside en el bajo costo de fabricación que ofrece la técnica de litografía usada en su confección y como desventaja se debe mencionar la complejidad del control de sintonía y el bajo tiempo de sintonía debido a la inercia térmica para los dispositivos que usan secciones de cromo. Entre los grandes avances en el diseño con interferómetros MZ, se encuentra un dispositivo conformado por 7 MZ en cascada y que soporta 128 canales en DWDM, el cual fue elaborado sobre un substrato de silicio - sílice, y que además genera pérdidas en el orden de 6.7 dB y un crosstalk de -1 dB.

2.2.6.- Fibra con Rejillas de Difracción de Bragg (FBG).

La fibra con rejillas de difracción de Bragg es una fibra que se va a tener un comportamiento de filtro, producto de un proceso en el que se crea una modulación permanente del índice de refracción de la fibra.

La FBG es un elemento importante en los sistemas de telecomunicación óptica, ya que son utilizadas comúnmente para la demultiplexación, extracción e inserción de longitudes de onda. Debido a su proceso de fabricación tienen muy bajas pérdidas de inserción, así como también, son inmunes a la interferencia electromagnética y proporcionan un aislamiento eléctrico.

La amplia variedad de las aplicaciones que se le ha dado a las fibras con rejillas de difracción de Bragg han hecho que la tecnología se desarrollará extremadamente, siendo así, una de las más versátiles y estables en el campo de la óptica.

2.2.6.1.- Modulación Periódica en el Índice de la Fibra.

La primera fibra fotosensitiva fue observada en fibras de sílica dopadas con germanio en el año 1978. Al exponer por largo tiempo el core de una fibra dopada con germanio con una intensa luz láser de argón 488 nm, se observó una reflexión hacia atrás, la cual se iba incrementando con el tiempo de exposición. A través de mediciones espectrales se entendió que este efecto era debido a un índice de

refracción periódico y permanente. Este efecto reticular fue fotoinducido a lo largo del core por un patrón de onda generado de la interferencia entre el rayo incidente y su reflexión desde la sección final de la fibra. Posteriormente, fue demostrado que la variación del índice depende del cuadrado de la potencia que define o graba las rejillas y que además, esto podría ser observado en diferentes tipos de fibras y codopantes.

Muchos métodos prácticos de grabación de este índice de refracción periódico han sido propuestos, entre ellos se tiene, un patrón de interferencia generado a partir de dos rayos coherentes o a través de la llamada máscara de fase, que permite grabar cualquier periodo y hacer reflectante cualquier longitud de onda. Las fuentes son generalmente láseres UV (248 nm y 193 nm) y láseres de argón (244 nm).

2.2.6.2.- Propiedades de las Fibras con Redes de Difracción de Bragg.

La luz guiada a lo largo del core de una fibra monomodo normalmente viaja como una onda plana perpendicular al eje, esto corresponde al modo de propagación de un solo modo. Mucha de la potencia viaja en el core con una pequeña parte correspondiente a la onda evanescente que viaja por fuera cercano al core en el cladding. Esta onda es perturbada por las constante rejillas planas-índice que son perpendiculares al eje (Figura 2.19), generando una pequeña reflexión en cada rejilla plana, donde la contribución de cada reflexión se suma constructivamente en la dirección hacia atrás para las longitudes de ondas definidas por el periodo d de las rejillas, el orden m (un entero) y el índice de efectividad del core n_{eff} .

$$\lambda_B = \frac{2n_{eff}d}{m} \quad (2.20)$$

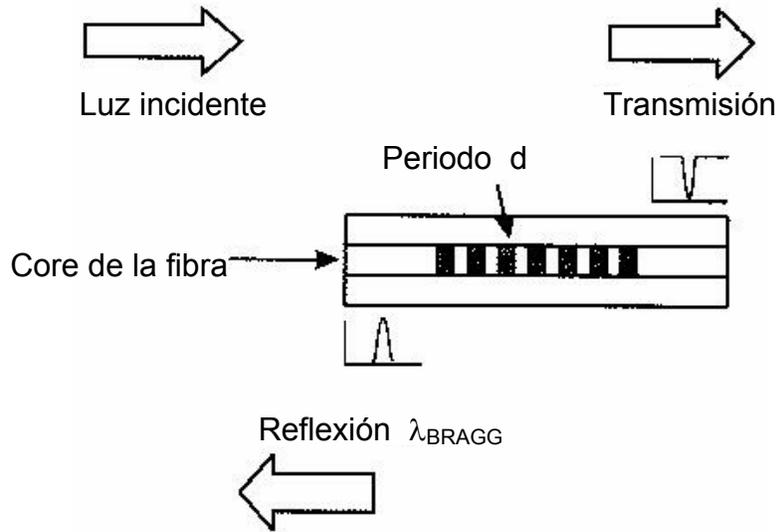


Figura 2.19 Fibra con redes de Bragg.

Para separar la señal entrante de la señal reflejada se requiere de un circulador óptico. La inserción y extracción de longitudes de onda usando FBG se muestra en figura 2.20. Con un apropiado diseño, las rejillas pueden ser diseñadas con una reflectividad superior al 99%.

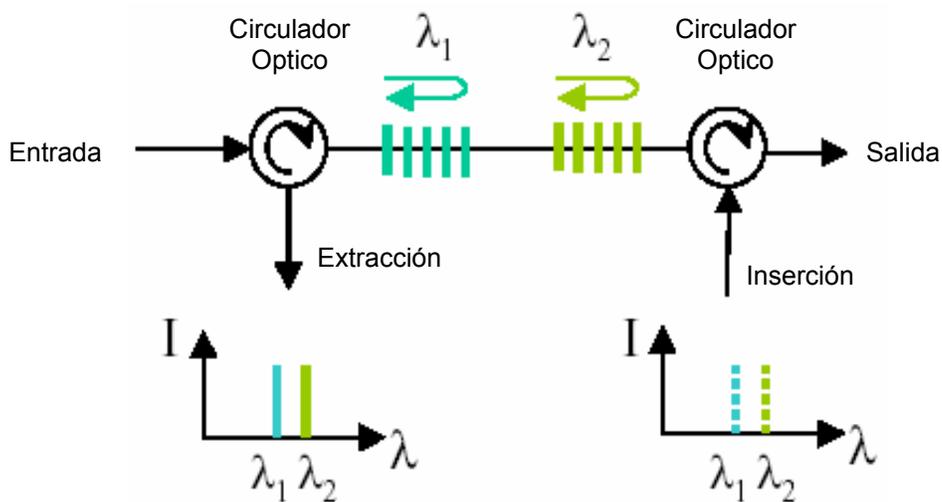


Figura 2.20 Extracción e inserción de longitudes de onda utilizando FBG y circuladores ópticos.

Un circulador usualmente tiene de 0.5 a 1.0 dB de pérdidas de inserción, en consecuencia, mucha de las pérdidas de inserción de un OADM (1.0 a 2.0 dB) que utiliza rejillas y circuladores proviene de los circuladores ópticos. Al igual que los filtros de película delgada (TFF), las pérdidas de inserción incrementan en la medida que más y más (circuladores + rejillas) sean colocados en cascada, por tal razón, estos dispositivos no son ideales para la implementación de un sistema DWDM con alta cantidad de canales.

La FBG tiene aplicaciones limitadas debido a que la dispersión cromática generada es alta, sin embargo a través de la modificación de la estructura de las rejillas es posible compensar la dispersión, pero esto adiciona al diseño complejidad y costos.

2.2.6.3.- Tipos de Rejillas de Difracción de Bragg.

Las rejillas de difracción de Bragg son generalmente clasificadas en varios tipos:

- **Tipo I:** Las rejillas son escritas o grabadas en clásicas fibras fotosensitivas con una potencia moderada. Ellas pueden ser usadas en un rango de temperatura necesario en las telecomunicaciones (-40 °C a +80 °C), y pueden ser borradas alrededor de los 200 °C. Ellas tienen pequeñas pérdidas.
- **Tipo IIA:** Las rejillas son escritas o grabadas con un tiempo de exposición relativamente largo. La principal causa de la variación del índice corresponde a la compactación del vidrio. Ellas pueden ser utilizadas a temperaturas muy altas, y pueden ser borradas con una temperatura alrededor de los 500 °C.
- **Tipo II:** Las rejillas son escritas con pulsos de alta potencia ($>0.5 \text{ J/cm}^2$). Ellas acoplan la luz en cladding en $\lambda < \lambda_B$, y pueden ser empleadas a altas temperaturas (800 °C a 1000 °C), pero su fiabilidad mecánica puede ser algunas veces un problema.

Para WDM y DWDM los componentes del tipo I son generalmente los preferidos. Varias rejillas con diferentes periodos pueden ser escritas en diferentes secciones

a lo largo de la fibra o superpuesta en la misma ubicación, así que componentes de múltiples longitudes de ondas pueden ser fabricados.

2.2.6.4.- Aplicaciones de las Fibras con Rejillas de Difracción de Bragg.

Las fibras con rejillas de difracción de Bragg tienen una gran cantidad de aplicaciones, y entre ellas tenemos las siguientes:

- Fibra láser.
- Demultiplexor WDM (1550 nm).
- Inserción/extracción en WDM (1550 nm).
- Amplificador óptico con ganancia ecualizada (1530 – 1560 nm).
- Compensador de distorsión para transmisiones de largas distancias (1550 nm).
- Monitoreo de redes físicas al ser utilizado como sensor de temperatura, humedad y tensión.
- Codificación y decodificación de OCDMA (Optical Code-Division Multiple-Access).

2.2.7.- Filtros de Película Delgada (TFF).

Los filtros ópticos de película delgada se construyen haciendo de manera alternada materiales con bajos y altos índices de refracción. El comportamiento de un filtro óptico al incidirle una señal WDM, es que solo deja pasar un canal y el resto de los canales es reflejado (figura 2.21). El típico tamaño de un TFF es 1 mm por 1 mm, y se requiere de micro-óptica para ensamblar varios filtros ópticos sobre un substrato de vidrio.

Los TFF tienen la ventaja de que generan bajas pérdidas y crosstalk, son independientes de la polarización, y sobre todo tiene una buena estabilidad térmica, lo cual permite implementar sistemas a bajos costos, ya que no requiere de controles de temperatura.

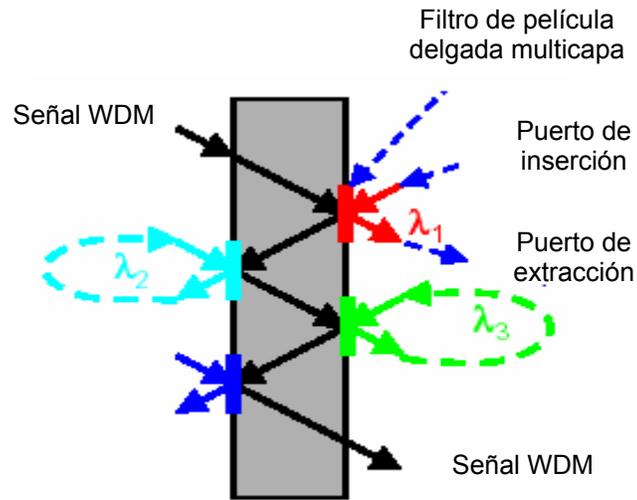


Figura 2.21 Mux/demux implementado con filtros ópticos de película delgada.

Los avances tecnológicos en los recientes años han hecho posible producir TFF de bajas pérdidas y de banda angosta, cumpliendo de este modo con los requerimientos de la UIT-T para los mux/demux DWDM con una separación de canal de 100 GHz. Para separar un canal de la señal WDM se requiere de un filtro óptico, y su pérdida usualmente esta entre 0.5 y 1 dB. De modo que al implementar un mux para la inserción/extracción de longitudes de onda o un demultiplexor WDM, se requieren varios filtros colocados en cascada, por ejemplo en zigzag, lo cual conlleva a que las pérdidas se incrementen en la medida que aumente la cantidad de canales, por lo tanto, estos dispositivos usualmente se utilizan cuando la cantidad de canales es pequeña.

2.2.8.- Comparación de las diferentes soluciones.

- **Filtros de Película Delgada (TFF):** Los filtros ópticos pueden ser virtualmente insensibles a la temperatura ($<2 \text{ pm}/^\circ\text{C}$), pero tienen mayores pérdidas y complejidad en la medida que se aumenta el número de canales.
- **AWG:** Los AWGs son buscados por lo excelentes que son para generar un espaciamiento muy pequeño, sin embargo estos generan grandes pérdidas,

tienen un bajo crosstalk y rango espectral libre, el cual limita en la practica el número de canales y restringe el dispositivo AWG a emplearse en una sola dirección. Su corrimiento debido a la temperatura es de $12 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, si el AWG esta hecho en sílica, y es de un orden de magnitud mayor sí esta hecho en InP. La solución práctica para contrarrestar el efecto de la temperatura es el uso de Peltier u otros estabilizadores térmicos.

- **Rejillas de Difracción Cóncavas (CG):** Comercialmente estos dispositivos no están disponibles. Adicionalmente estas se caracterizan por generar grandes efectos de polarización, de crosstalk y pérdidas de inserción.
- **FBG:** Los FBGs son generalmente preferidos cuando solo unos pocos canales tienen que ser extraídos del enlace. El principal problema de los FBGs es que deben ser empleados con circuladores o acopladores MZ (tantos acopladores como longitudes de onda van a ser extraídas o insertadas separadamente), lo cual introduce muchas pérdidas y costos.
- **Rejillas de Difracción:** Tienen la capacidad de multiplexar un gran número de canales (disponibles comercialmente con mas de 160 canales y con bidireccionalidad) y manejan espaciamientos pequeños como 25 GHz (disponible comercialmente) y 5 GHz cuya factibilidad fue demostrada en el año 1997.

2.2.8.1.- Conclusión.

Cada dispositivo o solución tiene un dominio de aplicación. Para un bajo número de canales, los filtros ópticos de película delgada y las fibras con rejillas de difracción de Bragg tienen algunas ventajas. Los AWGs son usados para enlaces unidireccionales. Las rejillas de difracción pueden ser usadas en enlaces bidireccionales de alta calidad. Para los enlaces unidireccionales o bidireccionales las rejillas de difracción tienen virtualmente limitado el número de canales y proveen un bajo crosstalk para un gran número de canales. En la tabla 2.2, se especifica el desempeño típico de los componentes disponibles para DWDM.

Tabla 2.2

Desempeño Típico en DWDM

Soluciones	Número de Canales	Espacio entre Canales (nm)	Típicas Pérdidas (dB)	Xtalk (dB)	Rango Espectral Libre (nm)	Sensibilidad a la Polarización (% de $\Delta\lambda$)	Corrimiento por Temp. (nm / °C)
AWG	Disponible hasta 80	Menor a 0.4	6 a 10	-25	Limitado en 40	Típicamente 2%	Si: 0.012 InP: 0.1
CG	Solución de laboratorio y hasta 78	Menor a 0.8	10 a 16	-10 a -30	Bueno	2% al 50%	0.1
FBG	De uno a pocos canales	0.4	1 por circulador	-25	Bueno	0%	0.01
TFF	Disponible hasta 16 o 32	Menor a 0.8	1 a 6	-10 a -25	Bueno	0%	0.0005
Rejillas de Difracción	Disponible hasta 160 y factible 262	Menor a 0.2 y factible 0.05	2 a 6	-30 a -55	Alto: 775	0%	Si: 0.01 Si/Glass o Aerial: .0003

2.3.- Fuentes y Convertidores de Longitud de Onda para DWDM.

Las fuentes de luz empleadas en DWDM pueden ser diodos emisores de luz (LEDs), láseres semiconductores o láseres de vidrio dopado de diferentes tipos. Algunas de estas fuentes pueden ser sintonizables a diferentes longitudes de onda. Los emisores pueden ser internamente o externamente modulados. Para altas tasas de bit una modulación externa es por lo general necesario.

Todo procesamiento óptico en el futuro de las redes de las telecomunicaciones necesitará convertidores de longitudes de ondas que puedan cambiar una señal óptica de una longitud de onda a otra. En este capítulo se revisará las principales fuentes de luz y las técnicas de conversión de longitud de onda para DWDM.

2.3.1.- Láseres Semiconductores.

2.3.1.1.- Material Empleado en la Elaboración del Láser.

Un Láser consiste en una unión semiconductor P-N polarizada en directo suministrando una corriente de excitación (de bombeo) suficiente para crear la inversión de población. Se requiere de la existencia de fotones primarios que al moverse en el recinto activo desencadenen la transición en masa. Los fotones secundarios o generados poseen la misma frecuencia y fase que el fotón primario generándose una emisión coherente. La selección de la dirección de los rayos se hace utilizando técnicas de cavidades resonantes con semi-espejos, donde la onda va y viene y cuando alcanza cierto nivel emerge por uno de los semi-espejos.

Uno de los principales problemas en un semiconductor es obtener una banda de Gap o prohibida grande con materiales semiconductores como GaAs, que tiene una banda de Gap de 1.42 eV, la cual corresponde a una longitud de onda de 905 nm. Otros materiales semiconductores como InGaAsP/InP pueden proporcionar una variación de la banda de Gap desde 1.2 a 1.6 μm , lo cual es

ideal para la transmisión en fibras de sílice, donde generalmente un sustrato de InP es utilizado. Sin embargo, un sustrato de Si/InP también puede ser fabricado para casos específicos.

2.3.1.2.- Láser Quantum Well (QW).

El diseño del láser Quantum Well (QW) permite solucionar uno de los principales problemas que existían en los dispositivos pasados, que eran las altas densidades de corrientes y el excesivo calentamiento. El diseño del láser QW es la solución a los problemas anteriores y actualmente es utilizado en casi todos los dispositivos. En una estructura QW el par electrón–hueco está confinado a una región de unión muy delgada, y los fotones emitidos en la recombinación están confinados a una región más gruesa. Todo esto causa que la banda de Gap se divida en discretas subbandas que ayudan a disminuir los umbrales mejorando la ganancia y la coherencia.

Existen los láseres Multiquantum Well (MQW), donde los cuales los umbrales de corriente son aún más pequeños.

2.3.1.3.- Láser Quantum Dot (QD).

El láser Quantum Dot tiene dimensiones físicas extremadamente pequeñas, y comparándolo con el láser QW, puede tener bajos umbrales de corriente y una menor sensibilidad a la temperatura. El rango de sintonización del láser QD es bastante amplio y está siendo potencialmente usado para aplicaciones de WDM. El láser QD emite longitudes de onda de 1300 nm y más cortas, así como también, el láser QD puede generar un rango continuo de sintonización desde 1400 nm a 1650 nm. El láser QD es un buen candidato para generar pulsos ultra cortos (por ejemplo: 7 ps, 7 GHz).

2.3.1.4.- Láser Semiconductor de Emisión de Borde.

2.3.1.4.1.- Láser Fabry Perot (FP).

Los primeros diodos láser utilizaron cavidades Fabry Perot (FP), las cuales consisten de una cavidad delimitada por dos espejos formados por dos planos de exfoliación con tratamiento superficial. Estos dispositivos oscilan en varios modos longitudinales (MLM), correspondientes a los diferentes picos de reflexión ubicados en el amplio espectro del material activo. Estos modos son emitidos en un ancho de banda cercano a los 2 nm en la mitad del máximo, consecuentemente estos láseres no son ideales para DWDM.

El láser Fabry Perot es actualmente uno de los láseres de menor costo, así como también, genera la peor penalidad de potencia debido a la dispersión, ya que el ancho de su línea óptica es muy grande, típicamente de 1 a 4 nm. El ancho de línea del láser es más frecuentemente referido en MHz o GHz que en nm. El factor de conversión es $1 \text{ nm} = 125 \text{ GHz}$. Por lo tanto, un láser FP tiene un ancho de línea de 125 a 500 GHz.

Diferentes métodos pueden ser empleados para obtener un único modo longitudinal (SLM), como lo es la realimentación distribuida (DFB), reflexión de Bragg distribuida (DBR), entre otros.

2.3.1.4.2.- Láser de Retículas de Realimentación Distribuida (DFB).

Hoy día los láseres DFB son usados en casi todas las redes DWDM. En estos láseres una red de difracción de Bragg o variación periódica del índice de difracción es añadida a la capa activa para así elevar la selectividad del dispositivo, así como también, la utilización de cubrimientos antireflectivos en los extremos (Figura 2.22), donde la longitud de onda a la cual ocurre la realimentación viene dado por el paso de la rejilla. Este tipo de láser tiene un alto desempeño frente a las altas temperaturas, en la eficiencia cuántica, en la distorsión analógica, y una alta estabilidad sobre la longitud de onda.

Las frecuencias del láser DFB para DWDM están especificadas según la canalización de la ITU-T en la banda C, y están comercialmente disponibles. Un láser con un modulador de electro-absorción MQW puede ser integrado dentro de un mismo chip, el cual es ideal para velocidades de transmisión de 10 Gbps sobre distancias de 40 a 100 Km y para 2.5 Gbps sobre varios cientos de kilómetros.

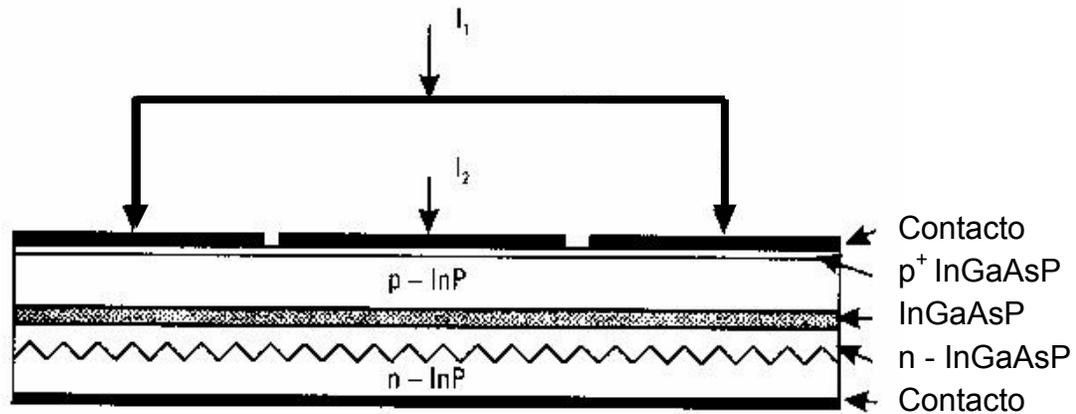


Figura 2.22 Láser DFB sintonizable de multisección para 1500 nm.

Entre los tipos de láser DFB se tienen los siguientes:

- **Láser DFB Standard:**

El ancho de la línea óptica está alrededor de los 0.1 nm o 12 GHz. Para altas velocidades de transmisión este láser puede ser una seria limitación para distancias por encima de 50 Km.

- **Láser DFB Screened:**

El diseño de este láser es muy similar al DFB Standard, con la diferencia que ha sido diseñado para un ancho de línea muy estrecho, típicamente en el rango de 0.01 a 0.05 nm, que equivale de 1 a 5 GHz. Esto permite que el enlace pueda alcanzar mayores distancias a velocidades de transmisión en el orden de los Gbps.

- **Láser DFB modulado externamente:**

Este láser tiene un ancho de línea muy estrecho (1 a 2 MHz o 0.000008 a 0.000016 nm) operando en una onda continua, eliminando así cualquier efecto chirp que pueda incrementar el ancho de la línea. Un modulador externo actúa como un disparador electrónico, y esta disponible para aplicaciones analógicas y digitales, pudiendo de soportar velocidades de transmisión de 40 Gbps y un ancho de banda analógico de 20 GHz o más. En cuanto a la desventaja que puede tener este tipo de láser con un ancho de línea muy estrecho, es que puede estimular efectos no lineales como la Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS).

Actualmente todos los DFBs desarrollados utilizan variaciones de la estructura activa QW, así como también se ha logrado fabricar varios DFBs con diferentes longitudes de ondas sobre un mismo dispositivo, como es el caso de 40 láseres DFB-LDs.

2.3.1.4.3.- Láser DBR.

En el láser DBR la red de difracción está integrada en el mismo chip, pero las rejillas están ubicadas fuera de la región activa, lo cual simplifica el proceso epitaxial. En una estructura típica de un DBR sintonizable el índice de la sección de rejillas puede ser controlado y hay una sección de control de fase entre la sección de rejillas y la sección de ganancia (Figura 2.23).

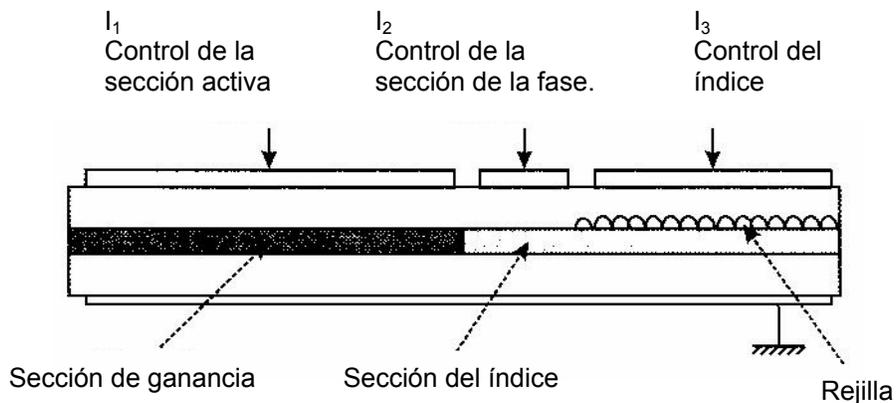


Figura 2.23 Típico láser DBR.

En cuanto a la sintonización de la longitud de onda, esta se puede hacer a partir de cambios en el índice de refracción, por la corriente de inyección o control térmico. Varios láseres DBR y moduladores de electro-absorción pueden ser integrados para aplicaciones DWDM. Ellos frecuentemente usan estructuras adicionales como las cavidades C^3 (cleaved coupled cavity) o súper redes de difracción, lo cual le permite alcanzar una sintonización mucho mayor que el láser DBR convencional.

2.3.1.4.4.- Láser C^3 (Cleaved Coupled Cavity).

El láser C^3 está diseñado con tres secciones que manejan independientemente la corriente. Este láser permite cambiar la ganancia controlando la densidad de portadores en la región activa e independientemente cambia la longitud de onda con una variación del índice, el cual es controlado por la corriente. Una tercera sección es usada para acoplar ópticamente las otras dos secciones. El láser C^3 puede ser sintonizable con un control de la longitud óptica de las tres cavidades. Típicamente el diseño de este tipo de láser es combinado con el diseño de los DBR.

2.3.1.4.5.- Láser GCSR (Grating Coupled Sampled Reflector).

El láser GCSR está conformado por cuatro secciones: una región activa, una región de fase, y dos regiones SSG (Superstructure Grating) con una rejilla de Bragg en cada lado del dispositivo (Figura 2.24).

Este tipo de láser proporciona un rango de sintonización grande para cualquier longitud de onda en toda la banda C, y por ende esta siendo importante en las redes ópticas DWDM.

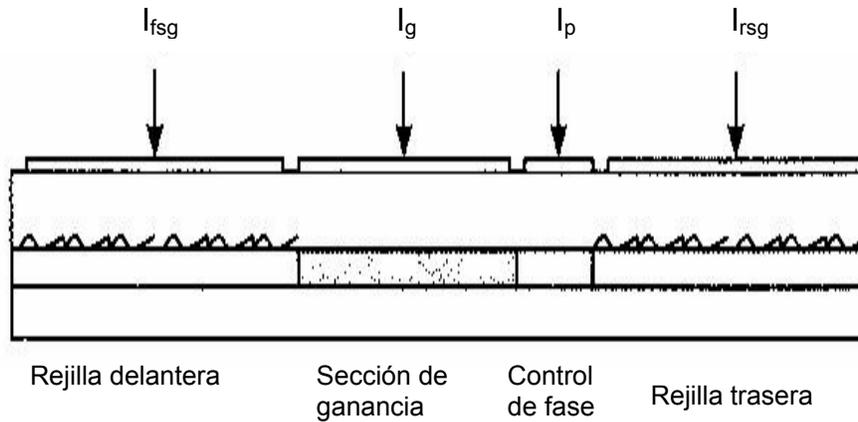


Figura 2.24 Láser sintonizable SSG de cuatro secciones.

2.3.1.5.- Láser Emisor de Superficie de Cavidad Vertical (VCSEL).

El láser VCSEL está basado en una región activa QW dentro de una pequeña cavidad óptica entre DBRs. El láser puede tener bajo niveles de corriente y una alta eficiencia en la conversión eléctrica-óptica y además emite un rayo circular de baja divergencia.

Existen módulos VCSEL para alta velocidad de transmisión que están comercialmente disponibles por diferentes fabricantes. Los avances de VCSEL han permitido transmisiones WDM con una capacidad de agregado de 40 Gbps sobre cuatro longitudes de ondas en 814.7, 822.1, 828.0, y 835.0 nm sobre fibra multimodo.

Los efectos de la temperatura sobre la longitud de onda del VCSEL se deben principalmente a la variación de la longitud de la cavidad con la variación del índice y por los cambios en el espectro de ganancia del dispositivo.

2.3.2.- Comparación de las Diferentes Tecnologías.

Hasta ahora se han revisado las principales y diferentes tecnologías usadas para las fuentes de longitud de onda. La sintonización continua sobre un rango espectral amplio ha beneficiado substancialmente a las aplicaciones de DWDM.

Existe la posibilidad de que pocos láseres sintonizables puedan reemplazar a una gran cantidad de láseres que generan una longitud de onda fija. Una sintonización de rango amplio permite realizar funciones de encaminamiento y de inserción/extracción a gran escala, así como también, la rápida sintonización permitirá la conmutación completa de paquetes. En la tabla 2.3, se comparan las principales características típicas de las diferentes soluciones que ya están muy bien establecidas o aún están en investigación.

Tabla 2.3

Comparación de las Diferentes Tecnologías de Fuentes Sintonizables para DWDM

Tipo de Láser	Típica Potencia de Salida (μW)	Relación del Modo de Supresión Lateral (SMRS) (dB)	Típica Longitud de Onda Sintonizable	Observaciones
DFB	2/30 (Es baja con DFB sintonizable)	33/38	5nm	Proceso de fabricación esta bien establecido. Se han reportado DFB para 40 Gbps integrado con moduladores de electro-absorción.
Arreglo de Láser DFB para Multiplexores	2/10	40/50	Canales Discretamente fijados	8 canales con 3.2nm de espaciado. Más de 40 canales en etapa de investigación.
DBR	2/10	30/35	17 nm	Proceso de fabricación esta bien establecido.
C^3	2/10	20/25	16/30 nm	
GCSR	10/15	30/40	40/60 nm Es factible 100 nm	Rápida respuesta en tiempo 5/30ns. No es completamente sintonizable.

Tabla 2.3 (continuación)

Tipo de Láser	Típica Potencia de Salida (μW)	Relación del Modo de Supresión Lateral (SMRS) (dB)	Típica Longitud de Onda Sintonizable	Observaciones
Láser de Cavidad Micro externa	10/20	50	40 nm	Baja velocidad de conmutación. Sensible a las vibraciones.
VCSEL con MEMS	1	35/40	14 nm y más	Es rápido. 3/10 Gbps. 850/1300 nm. 1500 nm esta siendo disponible.
Espectro Dividido	-5/-10	30	Canales discretos	En etapa de investigación 40 canales con espaciado de 0.4 nm.

2.3.3.- Convertidores de Longitud de Onda.

Diferentes técnicas han sido propuestas para realizar conversiones de longitudes de onda. Un convertidor ideal debe tener las siguientes características:

- Una alta relación señal a ruido.
- Un bajo chirp en la señal de salida.
- Altas velocidades de transmisión.
- Transparencia a la fase, amplitud, frecuencia y a cualquier formato de modulación que tengan las señales.
- Tiempo de conversión rápido.
- Capacidad para ser dispuestos en cascada.
- Reformador de la señal.
- Insensible a la polarización.
- Amplio rango de longitud de onda tanto para longitudes de ondas cortas como largas.
- Conversión simultanea para un conjunto de longitudes de onda de entrada.

- Habilidad para generar una longitud de onda idéntica en la entrada y la salida cuando la conversión no es requerida.
- Fácil implementación y bajo consumo de energía.

Existen diferentes soluciones disponibles. Ninguna de ellas posee todas las características deseables. Entre los diferentes convertidores de longitud de onda tenemos:

- Conversión optoelectrónica.
- Conversión totalmente óptica.
- Técnicas de modulación cruzada que incluye la modulación de ganancia cruzada (XGM) y XPM.
- Técnicas Coherentes que incluyen FWM (Four Wave Mixing) y Generación de Diferencias de Frecuencias (DFG).

2.3.3.1.- Conversión Optoelectrónica.

La señal óptica es inicialmente convertida en una señal electrónica a través de un fotoreceptor. Después la señal es amplificada y regenerada (regeneración 2R: amplificar y reformar; o regeneración 3R: amplificar, reformar y sincronizar). Luego la señal es llevada a la entrada de un láser sintonizable o un arreglo integrado de láseres que generan una longitud de onda requerida de un conjunto de longitudes de ondas predeterminadas (Figura 2.25).

El emisor podría ser un láser con una única longitud de onda, un láser sintonizable, varios láseres integrados monolíticamente con un conmutador de espacio o un conjunto discreto de láseres DFB con un conmutador de acople.

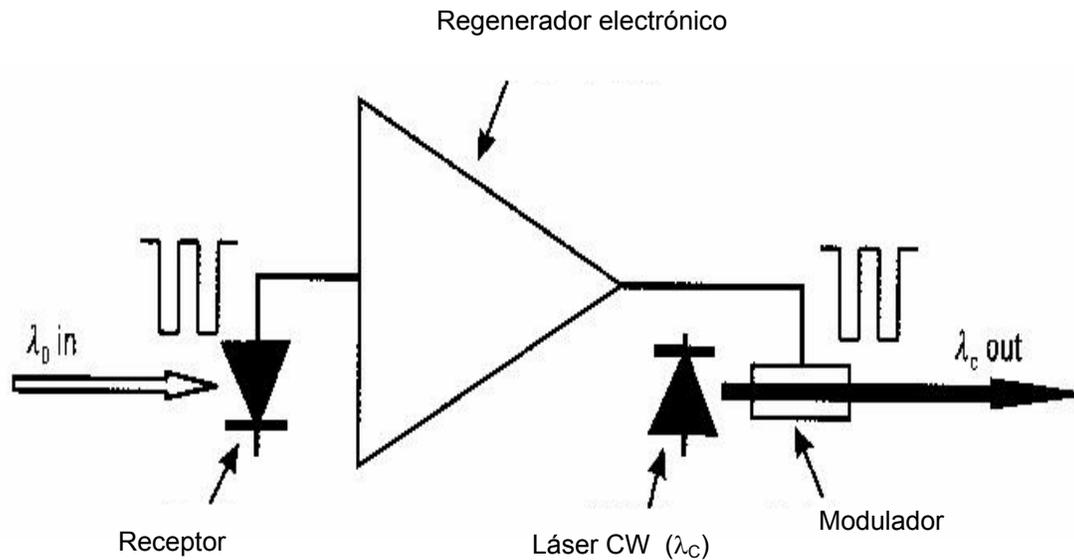


Figura 2.25 Convertidor optoelectrónico.

2.3.3.2.- XGM (Cross Gain Modulation).

El principio de conversión de la longitud de onda está basado en la no-linealidad de los SOAs. La señal entrante modulada va a saturar la ganancia del SOA que a su vez modula la transmisión de una fuente CW que está colocada a la longitud de onda asignada (Figura 2.26). La señal entrante es trasladada a la fuente de longitud de onda CW e invertida (el máximo de la señal de entrada corresponde al mínimo de la señal de salida convertida).

El XGM es muy sencillo y puede operar a altas tasas de bits (la portadora dinámica permite la conversión de tasas de bits por encima de los 80 Gbps). El proceso del XGM es independiente de la polarización. El principal problema de estos dispositivos es el espectro del chirp en la señal convertida debido a la modulación del índice y a la degradación del ratio de extinción.

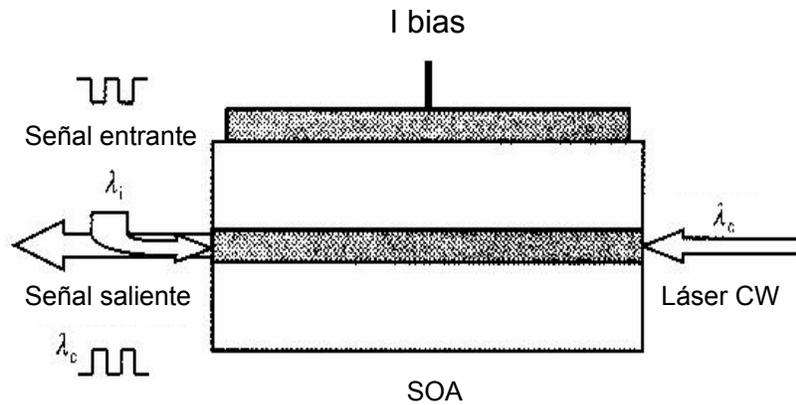


Figura 2.26 XGM en un SOA.

2.3.3.3.- XPM (Cross Phase Modulation).

En estos dispositivos el índice es modulado a través de la variación de la densidad de portadores inducidos por la señal entrante en uno de los ramales del interferómetro. Una diferencia de fase entre los dos ramales del interferómetro es creada por la señal por la señal entrante λ_i . Luego el rayo de un láser CW en λ_c es transmitido a través del interferómetro, siendo este modulado por esta modulación de fase. Los interferómetros por lo general son de tipo MZ (Figura 2.27) o Michelson.

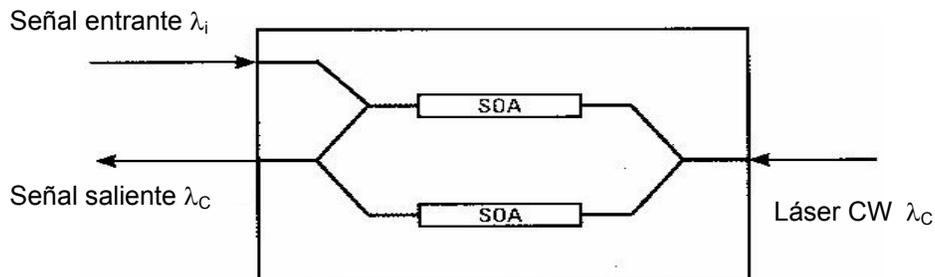


Figura 2.27 Conversión de longitud de onda utilizando una configuración con interferómetros MZ.

Todos estos interferómetros pueden ser hechos insensibles a la polarización. El chirp es por lo general muy pequeño porque la modulación de fase es obtenida con variaciones de ganancia muy pequeñas. Estos dispositivos son muy rápidos y permiten tasas de bits por encima de los 10 Gbps.

Los convertidores XPM pueden ser usados para suprimir el ruido acumulado de los EDFAs concatenados. Una posible desventaja es la limitación en la potencia dinámica de entrada. Estos convertidores no son transparentes a la fase de la señal, pero para señales digitales los XPMs son conocidos como la mejor solución para una conversión totalmente óptica.

2.3.3.4.- FWM (Four Wave Mixing).

La generación de frecuencias FWM en la fibra óptica es una posible fuente de crosstalk, sin embargo, este efecto no lineal en la fibra o en los SOAs puede también ser utilizado para la conversión de longitudes de ondas (Figura 2.28). Como se muestra en la siguiente figura, en la conversión FWM, la frecuencia de la señal entrante ω_i es adicionada a una bomba CW de frecuencia ω_p en un medio óptico no lineal. Entonces se genera una señal de frecuencia:

$$\omega_c = 2\omega_p - \omega_i \quad (2.21)$$

El FWM es un buen candidato para una conversión de longitud de onda totalmente transparente, preservando tanto la fase como la amplitud. También permite la conversión simultánea de un conjunto de longitudes de ondas a otro. Con el fin de que la conversión con FWM sea insensible a la polarización es indispensable dos bombas u otras compensaciones, y su rango de conversión esta limitado a 15 nm para transmisiones alrededor de los 10 Gbps.

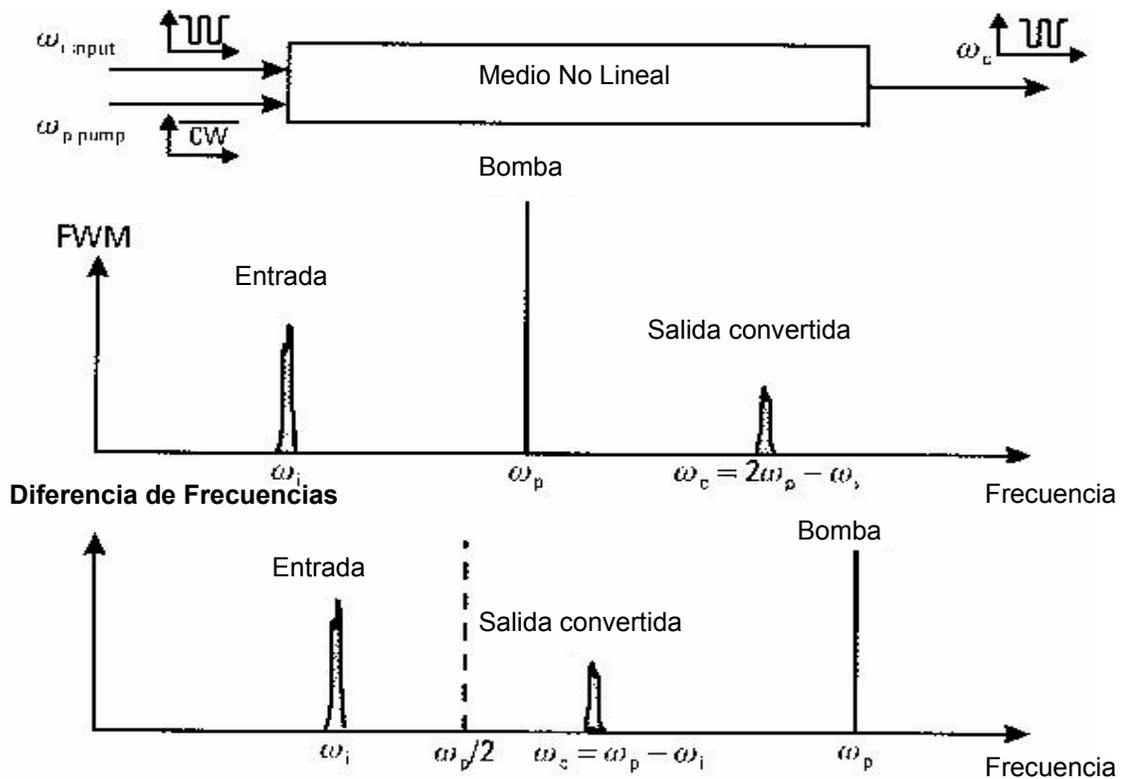


Figura 2.28 FWM y la generación de una diferencia de frecuencias para la conversión de longitudes de ondas.

2.3.3.5.- Generación de Diferencia de Frecuencias (DFG).

El DFG es también llamado el mezclador de tres ondas, permite una conversión multicanal con bajo crosstalk. Estos convertidores son insensibles a las variaciones de la polarización y son completamente transparentes.

2.3.3.6.- Estado del Arte en la Conversión de la Longitud de Onda.

El método optoelectrónico es una tecnología muy madura y generalmente es utilizada para hacer una conversión transparente a la amplitud en velocidades de transmisión de hasta 2.5 Gbps. Para velocidades mayores la tecnología de la

conversión totalmente óptica es muy ventajosa. Para velocidades de hasta 10 Gbps la XPM es preferida. La XPM en SOA permite una regeneración 2R de la señal. Los métodos coherentes como FWM y DFG están aún bajo desarrollo, pero son muy atractivos, ya que permiten una conversión ultra rápida y son completamente transparentes, así como también, permiten la conversión simultánea de múltiples longitudes de ondas. Para la conversión de múltiples longitudes de ondas la técnica DFG es la preferida.

2.4.- WDM y la Amplificación Óptica.

El fenómeno físico responsable de la amplificación óptica es la emisión estimulada, que fue introducida por Albert Einstein en 1917. A diferencia de lo que ocurre con la emisión espontánea, que se reparte por igual en todas las direcciones del espacio, la emisión estimulada solamente tiene lugar en la misma dirección y sentido del haz de luz estimulador. Además, los fotones emitidos por emisión estimulada tienen las mismas características que los fotones estimuladores, lo que los hace indistinguibles de éstos. Por ello, un haz de luz puede amplificarse al pasar por un medio material en el que se provoquen más emisiones estimuladas que absorciones. Para ello, es preciso excitar a los átomos que componen el medio material, mediante lo que se llama energía de bombeo, parte de la cual se transfiere al haz de luz que se amplifica. Si uno de tales medios se encierra en una cavidad formada por dos superficies reflectantes enfrentadas, se puede producir un haz de luz láser, originado por el fenómeno de amplificación de la fluorescencia emitida por los átomos excitados, cuando esta pasa múltiples veces por el medio amplificador.

Debido a los progresos alcanzados en la década de los setenta, donde la luz podía propagarse en el interior de una fibra óptica hasta distancias del orden de los cien kilómetros sin necesidad de repetidores, en la década de los ochenta se llevó a cabo, de forma masiva, la instalación de fibra óptica para comunicaciones. Primero se usaron fibras multimodo de salto de índice, luego se desarrollaron fibras multimodo de gradiente de índice y finalmente fibras

monomodo. Este progreso permitió incrementar la capacidad de transmisión de información de las fibras ópticas, hasta alcanzar valores muy por encima de la capacidad de las comunicaciones eléctricas. Esto condujo hacia una tendencia a tratar de avanzar en la implantación de dispositivos ópticos, para llevar a cabo funciones que estaban siendo realizadas por dispositivos eléctricos. Esta tendencia alcanzó a uno de los dispositivos básicos en comunicaciones: los repetidores o regeneradores optoelectrónicos. Cuando la señal transmitida por una fibra óptica se atenuaba hasta alcanzar los niveles mínimos de potencia permitidos, se convertía ésta en señal eléctrica mediante un receptor, posteriormente se amplificaba y regeneraba, mediante dispositivos electrónicos, y finalmente se reconvertía en señal óptica y se volvía a introducir en la red de fibra óptica (Figura 2.29).

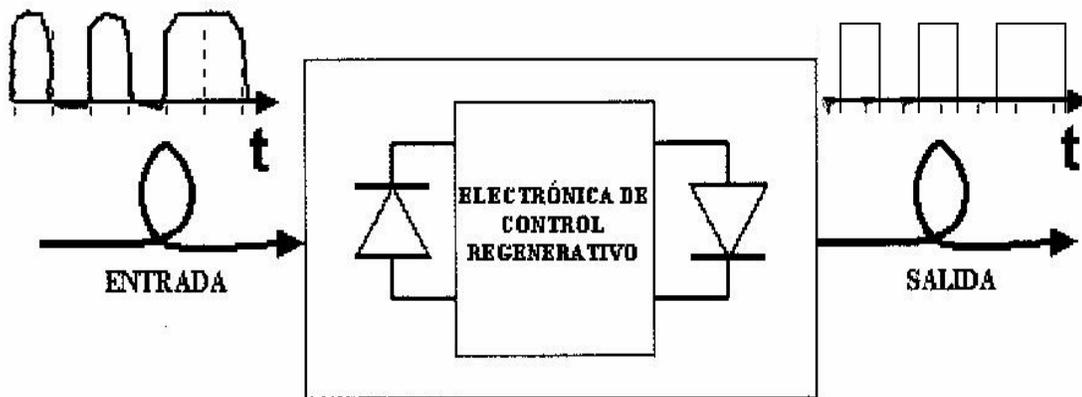


Figura 2.29 Regenerador optoelectrónico.

En cuanto a las desventajas que presentan los regeneradores optoelectrónicos se tiene:

- Son costosos y sensibles a una velocidad de propagación y a un formato de modulación específico.
- Necesitan una alta potencia de procesamiento.
- El tiempo de conversión de fotones a electrones y nuevamente de electrones a fotones es alto.

En contraste el amplificador óptico es un sistema transparente ideal:

- Añade ganancia a la señal óptica.
- Es insensible a la velocidad de propagación.
- Independiente del formato de modulación.
- Su rendimiento no depende ni de la potencia ni de la longitud de onda óptica procesada.

Durante el proceso de amplificación óptica, la señal se mantiene en el dominio óptico (Figura 2.30). El amplificador óptico no es un dispositivo enteramente ideal, por las siguientes causas:

- Opera para una cantidad limitada de potencias de salida. Por lo que la señal de entrada con múltiples portadoras disminuye su ganancia en un número finito de portadoras.
- El espectro de ganancia no es necesariamente plano en toda la región espectral de transmisión de la señal.
- El ruido aditivo genera una pérdida en la sensibilidad del receptor.
- Los efectos de la fibra óptica de dispersión y no-linealidad se acumulan sin dificultad.

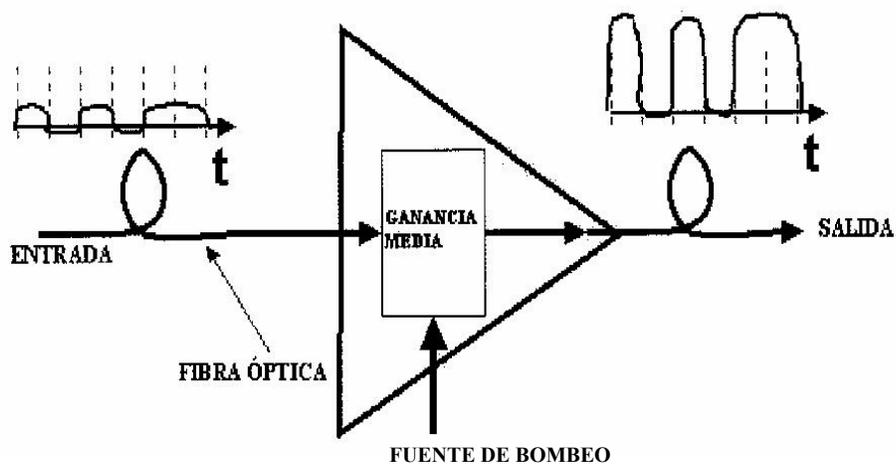


Figura 2.30 Esquema del amplificador óptico.

Hagamos notar que los sistemas para larga distancia operan para longitudes de ondas en la ventana de 1555 nm, para lograr las más bajas atenuaciones.

- Por lo que se usan fibras ópticas con cambio de dispersión, con un parámetro de dispersión cercano a cero para la longitud de onda de la señal.
- Con esta tecnología el amplificador óptico no necesita corregir la dispersión cromática a lo largo del sistema óptico.

2.4.1.- Tipos de Amplificadores Ópticos.

Resulta evidente que solamente podían ser útiles aquellos amplificadores ópticos que fuesen fácilmente conectables a las redes de comunicaciones por fibra óptica. Esto limitó las posibilidades realistas a dos tipos: los amplificadores de semiconductor, por su pequeño tamaño y los amplificadores de fibra óptica, por su facilidad de integración en la red. A ambos tipos de amplificadores se le ha dedicado un considerable esfuerzo de investigación y desarrollo, y ambos se han llegado a implantar en redes. No obstante, las apreciables ventajas de los amplificadores de fibra que desarrollaremos a continuación (tales como pérdidas de inserción y sensibilidad a la polarización muy inferiores) han hecho que su uso sea más frecuente.

Existen dos ventajas básicas de los amplificadores de fibra óptica, respecto a los amplificadores convencionales. En primer lugar, la potencia de bombeo necesaria es mucho menor, debido a que ésta se distribuye en una zona de unas pocas micras en el interior de la fibra, lo que permite conseguir más fácilmente la intensidad de bombeo necesaria para la amplificación. En segundo lugar, la fibra óptica puede enrollarse fácilmente, ocupando poco volumen, lo que permite utilizar amplificadores muy largos, para conseguir la máxima ganancia compatible con la potencia de bombeo utilizada. En la actualidad existen tres tipos básicos de amplificadores de fibra óptica: los de núcleo dopado con iones de tierras raras, los de difusión estimulada de Brillouin y los de difusión estimulada de Raman.

En la figura 2.31, podemos ver las características de amplificación de un amplificador de onda viajera basado en láser semiconductor (TWSLA), el amplificador de fibra dopada con Erblio, el amplificador de difusión estimulada de Raman y el de difusión estimulada de Brillouin. Los tres primeros tienen anchos de banda grandes y el último pequeño. Los amplificadores Brillouin se utilizan para aplicaciones específicas como filtro pasabanda, por ejemplo, en la salida de acopladores WDM.

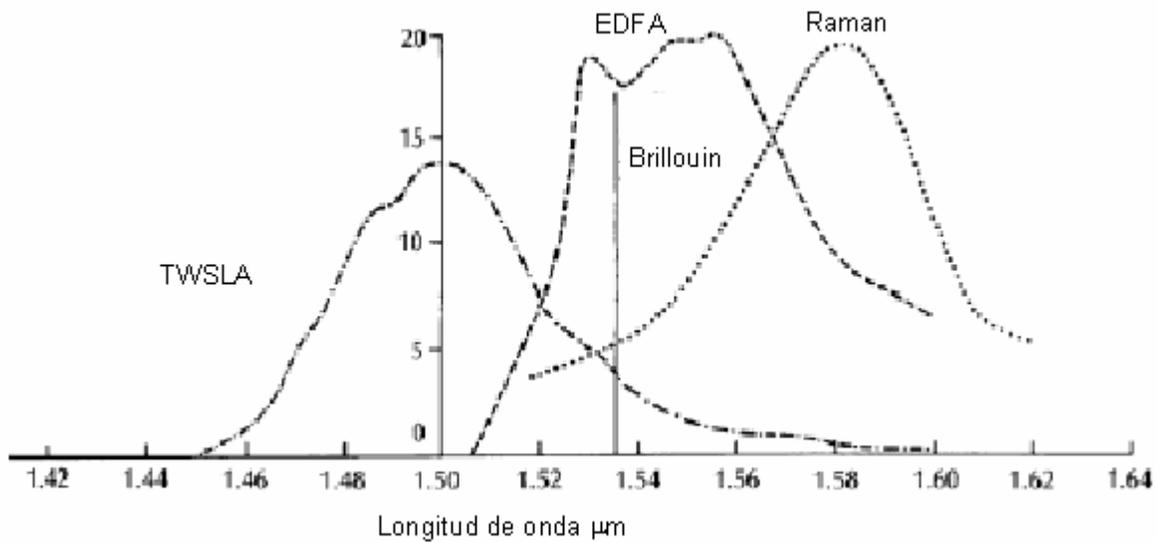


Figura 2.31 Características de los amplificadores ópticos para la banda de los 1.5 μm.

2.4.1.1.- Amplificadores Basados en Láseres Semiconductores.

Los SLAs (Semiconductor Laser Amplifier) se basan en la estructura convencional de un láser con reflectividades en los espejos menores de lo habitual. Pueden utilizarse tanto en modo lineal como no lineal. Hay varios tipos dentro de los SLAs, entre los que cabe destacar los de cavidad resonante (Fabry Perot o FPA), los de onda viajera (Travelling Wave o TWA) y los cuasi onda viajera (Near Travelling Wave o NTWA) que son amplificadores sin cavidad resonante. Estos dispositivos son capaces de amplificar la señal óptica (entre 15 y 35 dB) con poco consumo de

potencia y son adecuados para uso con fibra monomodo. La clasificación de los amplificadores láser se basa en las reflectividades de sus espejos, por ello se dividen en los FPA por un lado y los TWA y NTWA por otro.

2.4.1.1.1 Amplificadores Fabry Perot (FPA).

Cuando los espejos que forman una cavidad láser tienen una reflectividad alrededor del 30% se obtiene un FPA. Como la reflectividad es suficiente, se produce resonancia óptica en su interior, pero sólo para las longitudes de onda que cumplen:

$$q\lambda = 2Ln \quad (2.22)$$

Donde las características de transmisión tienen la forma de la figura 2.32, y el espaciado entre las bandas amplificadas pueden obtenerse con la ecuación 2.22.

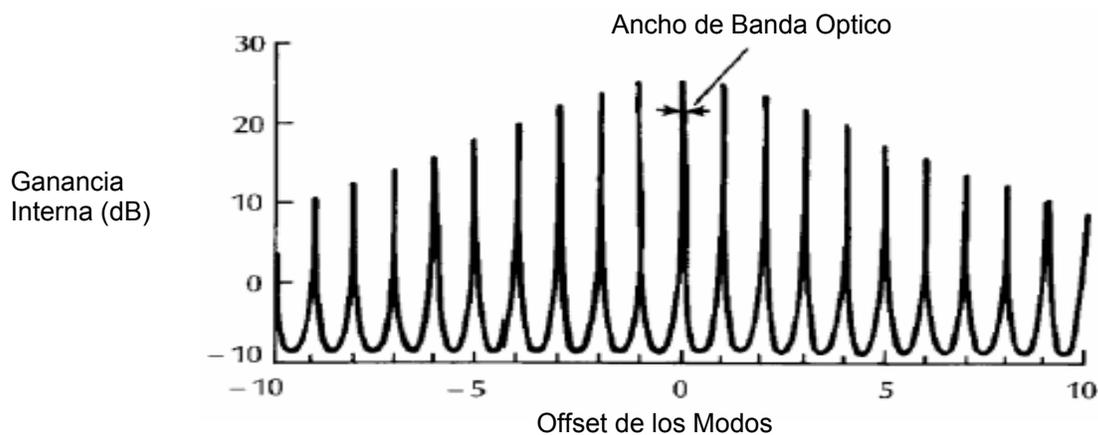


Figura 2.32 Bandas ópticas amplificadas en un FPA, el modo 0 es el de mayor ganancia. El eje x representa las frecuencias de emisión.

La condición de trabajo del FPA es la inyección de corriente por debajo de I_{TH} , donde no hay generación óptica interna para emisión láser, aunque hay

inversión de población y por tanto, la emisión estimulada es generada por los fotones que penetran en la estructura desde la fibra. La luz es amplificada aunque además de la amplificación se genera un ruido debido a la emisión de luz propia de FPA. Otro aspecto que cabe resaltar es el filtrado de longitudes de onda que aunque es útil en determinadas aplicaciones, tiene el problema de que será muy sensible a fluctuaciones térmicas.

2.4.1.1.2.- Amplificadores de Onda Viajera (TWAs).

Estos dispositivos se consiguen eliminando la reflectividad de los espejos al aplicar capas antirreflectantes sobre éstas. Depositando una capa delgada de dióxido o nitruro de silicio se puede reducir la reflectividad por debajo de 10^{-3} . La eliminación de la cavidad resonante convierte a estos dispositivos en sistemas en que los fotones atraviesan la estructura estimulando la emisión de nuevos fotones coherentes con ellos y al llegar a la otra cara de la estructura la atraviesan. Este tipo de dispositivo tendrá una ganancia menor ya que no se aprovecha la resonancia de la cavidad, pero la eliminación de la resonancia también consigue que su amplificación sea prácticamente plana en función de la frecuencia del fotón, evitando lo que se aprecia en la figura 2.32. También se elimina la dependencia frente a la temperatura o cualquier otro factor externo. Así pues, los TWA son superiores a los FPA en aplicaciones lineales y en cuanto a un menor ruido. En estos dispositivos al reducir tan fuertemente la resonancia de la cavidad, la I_{TH} se incrementa con lo que el punto de trabajo está muy lejos del inicio de la propia emisión láser.

En los TWAs, la reflectividad es tan pequeña como es posible, siendo estos más atractivos para aplicaciones de WDM y típicamente dan un rango dinámico de 14.5 dB para 20 canales a 200 Mbps con una potencia de entrada limitada a -12 dBm.

2.4.1.2.- Amplificadores de Difusión Estimulada de Brillouin (SBS).

La difusión estimulada de Brillouin es un efecto no lineal encontrado en las fibras de sílice cuando la potencia de bombeo es de unos pocos mW y amplifican en un espectro de una anchura de banda de tan solo 0.001 nm y requieren algunas decenas de Km de fibra. Debido a que el ancho de banda del coeficiente de ganancia es mucho menor que el ancho de banda de la información generalmente usada en las telecomunicaciones, los amplificadores de difusión estimulada de Brillouin no han encontrado muchas aplicaciones en las redes ópticas.

2.4.1.3.- Amplificadores de Difusión Estimulada de Raman (SRS).

En los amplificadores por difusión estimulada de Raman al igual que los Brillouin, la longitud de onda de amplificación queda fijada por la longitud de onda de bombeo y cambia con ella y con las propiedades del material del que está hecha la fibra. El efecto puede ser estimulado al transferir energía de una bomba láser a una señal débil. En este amplificador de Raman el ancho de banda de ganancia es mucho mayor que el de Brillouin, por lo tanto, permite la amplificación de varias longitudes de ondas multiplexadas. Sin embargo, el problema del crosstalk es particularmente difícil de resolver.

El amplificador de Raman trabaja alrededor de 1.3 y 1.5 μm con bombas en 1.24 y 1.42 μm y anchos de banda de 65 y 100 nm respectivamente y requieren unos pocos Km de fibra. Los amplificadores de Raman son comercializados y requieren de una bomba de mayor potencia que los EDFAs, pero pueden ser utilizados en configuraciones híbridas con los EDFAs.

2.4.1.4.- Amplificadores de Fibra Optica Dopada con Tierras Raras.

El pequeñísimo ancho de banda de los amplificadores basados en efecto Brillouin y la considerable potencia de bombeo necesaria en los amplificadores basados en el efecto Raman, han hecho que se hayan dedicado esfuerzos mucho más

considerables a la investigación y desarrollo de amplificadores de fibra dopada con tierras raras para su aplicación en las tres ventanas de comunicaciones ópticas. Concretamente el de erbio en fibra de sílice para la tercera ventana, el de praseodimio en fibra de ZBLAN para la segunda ventana y la de mezcla de tulio y erbio en fibra de ZBLAN para la primera ventana.

En este tipo de amplificadores, los iones de tierra rara (introducidos como dopantes en el interior del núcleo de la fibra) proporcionan dos niveles (niveles inferior y superior de la transición láser) entre los que se producen transiciones de absorción y emisión a la longitud de onda para la que se quiere conseguir amplificación. Para ello, es preciso que domine la emisión estimulada frente a la absorción, lo que en términos de niveles no degenerados, significa que en el nivel superior de la transición láser, la población debe ser mayor que la que existe en el nivel inferior. Teniendo en cuenta que en el equilibrio térmico ocurre lo contrario, debido a la ley de Boltzman que regula la distribución de poblaciones, la situación requerida para que haya amplificación se denomina inversión de población. Para conseguir esta inversión es preciso que intervenga en el proceso al menos un tercer nivel del ion dopante (nivel de bombeo) situado por encima de los niveles correspondientes a la transición láser, y que presente unas características muy peculiares. En el caso de los amplificadores de fibra óptica, debe existir una transición radiactiva intensa desde el nivel fundamental del ion al nivel de bombeo, que sea capaz de subir muchos iones a dicho nivel, mediante la absorción de luz. Además, debe de haber una transición no radiactiva (por mecanismos colisionales) desde el nivel de bombeo hasta el nivel superior de la transición láser, que permita un trasvase muy rápido de iones a dicho nivel. Pero esto no serviría de mucho si los iones no fuesen capaces de permanecer un tiempo considerable en este nivel (nivel de vida media larga) para así conseguir en él una acumulación, que permita una inversión de población con el nivel inferior de la transición láser. Este mecanismo de consecución de la inversión de población se denomina bombeo óptico. Cuando el nivel inferior de la transición láser coincide con el fundamental, el esquema de bombeo se le llama tres niveles (Figura 2.33). En caso contrario, es preciso la participación de un cuarto nivel (por debajo de los

tres primeros) para permitir que el nivel inferior de la transición láser se despueble rápidamente (por desexcitación no radiactiva) lo que facilita la inversión de población del superior respecto al inferior. Este esquema de bombeo se llama de cuatro niveles y requiere mucha menos energía de bombeo, porque no hay que producir la inversión de población respecto al nivel fundamental que está muy poblado, sino respecto a un nivel poco poblado.

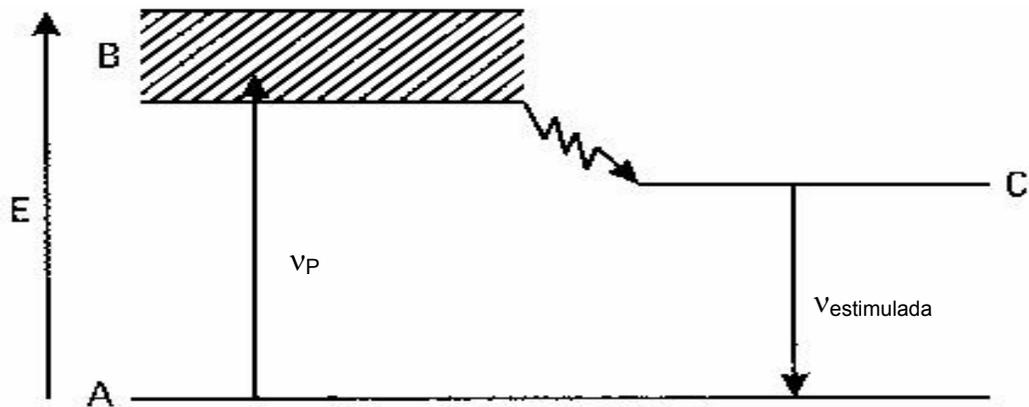


Figura 2.33 Sistema de tres niveles. E_n : niveles de energía, ν_p : frecuencia de bombeo, $\nu_{\text{láser}} = (E_c - E_A) / h$.

En la práctica, hay que considerar una serie de fenómenos, cuyo conocimiento nos puede permitir mejorar las prestaciones del amplificador. La luz de bombeo se acopla a la fibra amplificadora por uno o por ambos extremos. De esta forma, el bombeo al propagarse de forma guiada a lo largo de la fibra, va invirtiendo la población. Por ello, la señal que debe acoplarse a la fibra por uno de sus extremos es amplificada, debido al predominio de la emisión estimulada (que tiene lugar en la dirección de la fibra) frente a la absorción. La producción de inversión de población a lo largo de la fibra va debilitando progresivamente la intensidad del bombeo hasta que éste comienza a ser incapaz de producirla. Este fenómeno condiciona la longitud que debe tener la fibra, llamada longitud óptima, y así no desaprovechar su capacidad de amplificación si se hace más corta y evitar que parte de la fibra sea absorbente si se hace más larga. Por otra parte, los iones

que se encuentran en el nivel superior de la transición láser, no solamente pasan al nivel inferior por emisión estimulada, sino que también lo hacen por emisión espontánea, que se distribuye por igual en todas las direcciones del espacio. Parte de esta emisión espontánea queda acoplada en la fibra y se amplifica al propagarse en ambos sentidos, constituyendo lo que se denomina fluorescencia amplificada copropagante y contrapropagante, que se superpone a la señal, siendo la causa principal del ruido del amplificador. Por ello, cuando la aplicación para la que va a usarse el amplificador lo permite, se colocan filtros espectrales que eliminen la mayor cantidad posible de fluorescencia, sin deteriorar la señal. Además, si la fluorescencia amplificada se refleja en los extremos del amplificador, puede producir emisión láser, al amplificarse en pasos sucesivos por la fibra dopada, lo que resulta tremendamente perjudicial, al superponerse con la señal. Para evitar este efecto, se colocan aisladores ópticos (basados en el efecto Faraday) en uno o ambos extremos del amplificador, para de esta manera evitar los retornos no deseados.

Otro fenómeno a tener en cuenta para conseguir un funcionamiento óptimo del amplificador, es la influencia de la concentración del dopante. A primera vista, parece más cómodo (por problemas de espacio) utilizar fibras cortas altamente dopadas, que fibras largas débilmente dopadas. Pero este argumento deja de ser válido cuando se tiene en cuenta que las altas concentraciones provocan interacciones entre los iones dopantes, que los desexcitan y contribuyen a destruir la inversión de población, lo que disminuye la eficiencia del amplificador. Esta es la razón por la cual se usan fibras amplificadoras largas (de unas decenas de metros), con baja concentración de dopante (algunas centenas de partes por millón en peso). Incluso a estas concentraciones, se suelen añadir codopantes en el núcleo de la fibra, tales como aluminio, fósforo o germanio, que permiten que el dopante amplificador se diluya mejor, evitando así la formación de agregados. Finalmente, hay que procurar evitar efectos como la absorción desde estados excitados, consistente en transiciones radiactivas desde el nivel de bombeo o desde el nivel excitado de la transición láser. En el primer caso parte de los iones dopantes van a niveles superiores de energía en lugar de ir al nivel excitado de la

transición láser. En el segundo caso son los iones que ya han llegado a este nivel los que van a niveles superiores. En ambos casos se reduce la inversión de población y, por ello, la eficiencia en la amplificación.

2.4.1.4.1.- Amplificadores de Fibra Dopados con Erblio (EDFAs).

Los amplificadores de fibra de sílice dopada con erbio son los que mejores prestaciones presentan, en comparación con otros amplificadores de fibra óptica dopada con tierras raras (Figura 2.34). Por una parte, se consiguen hasta 50 dB de ganancia (en régimen de baja señal de entrada), con potencias de bombeo moderadas (de varias decenas de mW). Por otra parte, la zona espectral en la que amplifican se encuentra típicamente en torno al intervalo que va desde 1.53 a 1.55 μm , correspondiente a la tercera ventana, que tiene especial interés en comunicaciones ópticas por la baja atenuación que presentan las fibras de sílice a estas longitudes de onda.

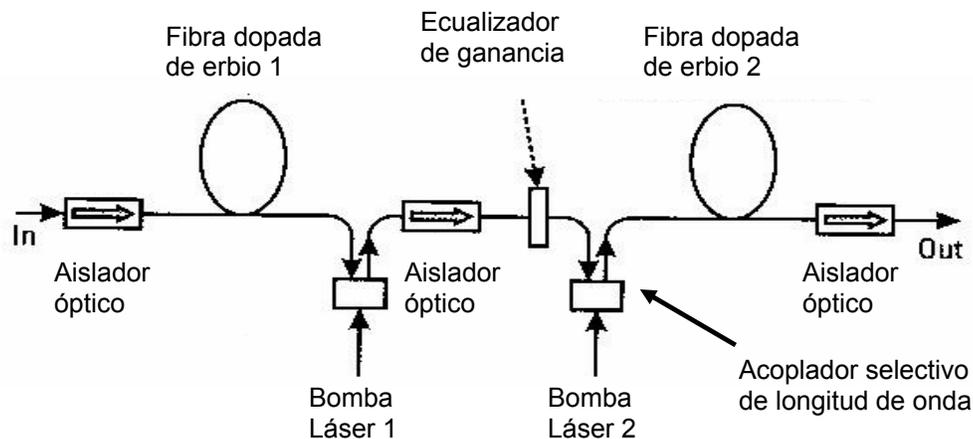


Figura 2.34 Típico EDFA de dos etapas.

La transición láser tiene lugar desde niveles de la banda $^4I_{13/2}$ hasta niveles de la banda $^4I_{15/2}$. Examinando las bandas superiores y las transiciones radiactivas permitidas desde la banda fundamental $^4I_{15/2}$ hasta estas bandas, se encuentran posibles transiciones de bombeo en torno a 530, 665, 800 y 980 nm.

Aparece una última transición de bombeo en torno a 1480 nm, que tiene lugar entre niveles de las mismas bandas que intervienen en la amplificación (la $^4I_{15/2}$ y la $^4I_{13/2}$). Para ello, es preciso que la longitud de onda de bombeo sea inferior a la de la señal que se amplifica. A la hora de seleccionar las longitudes de onda de bombeo más apropiadas, hay que eliminar las de 530 y 665 nm porque no existen fuentes pequeñas y suficientemente potentes. En cuanto a la posibilidad de bombear a 800 nm, hay que tener en cuenta que esta longitud de onda provoca transiciones intensas desde el estado excitado de la transición láser, que debilitan fuertemente el mecanismo de bombeo. Por estos motivos, es la luz de longitudes de onda de 980 ó 1480 nm la que se suele usar para el bombeo en amplificadores de erbio. En los últimos años se han desarrollado láseres semiconductores operando a estas longitudes de onda, que proporcionan más de 100 mW de potencia. Para conseguir estabilidad en la potencia y en la longitud de onda emitida, es preciso un control estricto de la corriente de alimentación y de la temperatura de los láseres emisores. Esto último se lleva a cabo mediante refrigeradores que operan por efecto Peltier. Para ayudar en la estabilización de la longitud de onda, suelen usarse también redes de Bragg de fibra óptica. Los láseres que emiten a 980 nm suelen estar fabricados a partir de compuestos de GaAs con In y P y los que emiten a 1480 nm a partir de compuestos de GaAs y Al. En los últimos años se está utilizando otro mecanismo de bombeo consistente en codopar la fibra con iterbio y bombear con luz de 980 nm, que provoca la excitación de los iones de iterbio con gran eficiencia, que se transfiere posteriormente a los iones de erbio. De esta manera consigue aumentarse la eficiencia del bombeo. Hoy día, los amplificadores de fibra dopada con erbio ofrecen la suficiente madurez industrial y desempeño para ser utilizados en DWDM y particularmente es muy importante la presencia de ecualizadores de ganancia cuando un sistema esta constituido por enlaces largos, donde se emplean varios amplificadores en cascada, en la cual una pequeña diferencia de ganancia entre cada amplificador resultaría en una gran diferencia entre canales WDM.

2.4.1.4.2.- Amplificadores de Praseodimio.

A pesar de las buenas prestaciones de los amplificadores de erbio y de su régimen de operación en la tercera ventana, que es la que más interés presenta para las comunicaciones a larga distancia, hay que considerar que una parte muy importante de las redes de larga distancia que están instaladas, están formadas por fibras ópticas optimizadas para la propagación de luz con longitud de onda de 1.3 mm, que corresponde a la segunda ventana de comunicaciones ópticas. Por ello, es también interesante disponer de amplificadores ópticos que operen en esta ventana.

En este momento las mejores prestaciones se obtienen con el amplificador de praseodimio. La amplificación en segunda ventana se lleva a cabo mediante la emisión estimulada desde la banda 1G_4 hasta la 3H_5 . Cuando el praseodimio se introduce como dopante en el núcleo de una fibra de sílice, aparecen transiciones no radiactivas muy fuertes desde la banda 1G_4 , que impiden la inversión de población con la banda 3H_5 , y por lo tanto, imposibilitan la amplificación. Para solventar este problema es preciso recurrir a fibras de ZBLAN, que es una mezcla de fluoruros de circonio, bario, lantano, aluminio y sodio. Esto origina un fuerte encarecimiento del amplificador. El bombeo se hace desde la banda fundamental 3H_4 hasta la 1G_4 , mediante absorción de luz de 1.02 mm, emitida por diodos láser. Este bombeo resulta poco eficiente, ya que es absorbido junto con la señal, desde la banda 1G_4 . Para compensar estos efectos hay que emplear potencias de bombeo de varios cientos de milivatios, que son unas diez veces superiores a las potencias de bombeo necesarias en los amplificadores de erbio. No obstante, se consiguen así del orden de 30 dB de ganancia (en régimen de baja señal de entrada) lo que puede resultar suficiente para amplificar las señales en red.

2.4.2.- Ganancia, Ruido y Propiedades Dinámicas.

El parámetro más importante de un amplificador óptico es la optimización de la ganancia, donde la primera precaución que ha de tenerse en la fabricación de la fibra, es considerar que los iones dopantes no van a ser bombeados de manera uniforme sobre la sección transversal de la fibra. La distribución de intensidad de bombeo en dicha sección está regulada por los perfiles de intensidad de los modos que se propagan confinados en la fibra. En consecuencia, la intensidad de bombeo es mayor en el centro del núcleo que en sus bordes, lo que conduce a que habitualmente solamente se alcance inversión de población en la parte central del núcleo. Por lo tanto, es preciso tener la precaución de no dopar con iones amplificadores las zonas en las que no se va a conseguir inversión de población, porque en ellas se produce absorción de señal en lugar de amplificación, con la consiguiente merma de la ganancia global del amplificador.

Una vez fabricada la fibra, es preciso considerar que la optimización de la ganancia depende de la aplicación concreta que vaya a darse al amplificador, debido a la dependencia de la longitud óptima de la fibra con la longitud de onda, la potencia de bombeo y de la señal. Parece claro que si la potencia de bombeo aumenta, éste será capaz de invertir la población en un trozo de fibra más larga, lo que aumenta la longitud óptima de ésta. Además, la longitud óptima es menor para las longitudes de onda en las que el bombeo es más eficiente, puesto que la potencia de bombeo es absorbida más rápidamente a lo largo de la fibra y pierde antes su capacidad para invertir la población. Si se aumenta la potencia de la señal, ésta es capaz de provocar más emisiones estimuladas, lo que contribuye a disminuir la inversión de población y, por tanto, a acortar la longitud óptima. En este caso la ganancia es menor, pero la potencia de salida es mayor, lo cual tiene su utilidad como veremos posteriormente. Al cambiar la longitud de onda cambia la probabilidad de emisión estimulada y por tanto la ganancia, de forma que cuando éstas son mayores, la inversión de población disminuye y con ella la longitud óptima.

Los comentarios anteriores muestran que la distribución de dopante de la fibra, así como las longitudes de onda y potencias de la señal bombeo y de la señal a amplificar influyen claramente en el diseño del amplificador. Para llevar a cabo éste es de gran ayuda disponer de modelos teóricos que permitan simular su comportamiento. En este campo se ha llevado a cabo abundante trabajo y se dispone de modelos que permiten calcular la evolución a lo largo de la fibra, de las potencias de bombeo y de la señal, así como de las fluorescencias copropagante y contrapropagante.

Otro parámetro importante del amplificador es el ruido, el cual deteriora la señal amplificada. Como hemos visto anteriormente, la población del nivel excitado de la transición láser origina la fluorescencia amplificada, que es un parásito que se superpone a la señal. Considerando que la potencia de bombeo se mantiene constante en el tiempo, la potencia de la fluorescencia debe ser en principio constante, lo que supone añadir un nivel constante de potencia parásita a la señal. Teniendo en cuenta que las señales que se usan en comunicaciones ópticas son variables con el tiempo y de frecuencias elevadas, esto no supondría un problema importante. El verdadero problema estriba en que al superponer ondas electromagnéticas con frecuencias diferentes, aparece una modulación sinusoidal de la intensidad de la onda resultante, con una frecuencia que es la diferencia entre las frecuencias de las dos ondas. Por lo tanto, a la salida del amplificador aparecerán todas las modulaciones debidas a la mezcla de la señal con cada una de las frecuencias de la fluorescencia y de las distintas frecuencias de la fluorescencia entre sí, originando fluctuaciones temporales de intensidad, que pueden ser de alta frecuencia (debido a la considerable anchura del espectro de fluorescencia) y pueden dificultar el reconocimiento de la señal. El ruido originado por estos fenómenos se evalúa mediante la figura de ruido, que expresa en escala logarítmica la relación entre el cociente señal / ruido a la entrada y a la salida del amplificador. Existen modelos sencillos que permiten obtener la figura de ruido a partir de la medida de la fluorescencia amplificada. Considerando que las señales que se emplean en comunicaciones ópticas son señales variables con el tiempo, es preciso analizar otros efectos perjudiciales como son la distorsión de

la señal al amplificarse (originada por la posible dependencia de la ganancia con la potencia de la señal introducida en el amplificador) y el crosstalk (consistente en la transferencia de información de un canal de comunicación a otro). Al amplificarse la señal a su paso por la fibra dopada, se origina un despoblamiento del nivel excitado de la transición láser, que crece con la potencia de la señal y es apreciable si ésta no es excesivamente débil. Este despoblamiento origina un decrecimiento de la ganancia, que va a disminuir cuando la potencia de la señal aumente y viceversa, lo que origina distorsión sobre la señal amplificada. Por otra parte, la variación de la potencia de la señal con el tiempo origina una modulación en la inversión de población, que a su vez origina una modulación en la ganancia. Cuando una segunda señal, correspondiente a otro canal de comunicación, se introduce en el amplificador, ésta se ve afectada por una ganancia que está modulada por la primera y que, por tanto, transfiere su modulación a la segunda, originándose así un crosstalk. En la práctica, para conocer la magnitud de estos efectos, hay que considerar que la dinámica de la inversión de población viene regulada por el valor de la vida media del nivel superior de la transición láser. Es fácil comprender que la población de este nivel no puede verse afectada por variaciones de la potencia de la señal que se lleven a cabo en tiempos pequeños frente a su vida media. En el caso del erbio, esta vida media (que depende ligeramente de los codopantes del núcleo) toma valores próximos a 10 ms, lo que implica que variaciones de señal que tengan lugar en tiempos inferiores a 0.1 ms no pueden afectar a la inversión de población. Esto quiere decir que para señales con frecuencias superiores a 10 KHz no se presentan los efectos de distorsión ni de crosstalk. En el caso del praseodimio la vida media del nivel en cuestión es de unos 100 ms, lo que significa que dejan de presentarse estos efectos a frecuencias superiores a 1 MHz. Como estas frecuencias son bajas en comparación con las que se utilizan en comunicaciones ópticas, se puede concluir que los amplificadores citados se encuentran en la práctica libre de efectos de distorsión e intermodulación.

2.4.3.- Ventajas y Desventajas de los EDFAs.

Las principales ventajas y desventajas de los EDFAs son las siguientes:

- **Ventajas:**

- Comercialmente disponibles para la banda C (1530 a 1565 nm) y en la banda L (1560 a 1605 nm) y hasta 84 nm de rango se ha podido alcanzar en laboratorio.
- Excelente acoplamiento.
- Insensible al estado de polarización de la luz.
- Baja sensibilidad a la temperatura.
- Alta ganancia: >30 dB.
- Una baja figura de ruido: 4.5 a 6 dB.
- No distorsiona a altas velocidades de transmisión.
- Amplificación simultánea de señales WDM.
- Inmunidad al crosstalk entre canales multiplexados.

- **Desventajas:**

- Es necesario una bomba láser.
- Difícil integración con otros componentes.
- Requiere utilizar ecualizadores de ganancia cuando la amplificación es realizada en múltiples etapas.

Como se puede apreciar los EDFAs ofrecen más ventajas que desventajas, así que son usados frecuentemente y sistemáticamente en redes ópticas multiplexadas.

2.4.4.- Comparación de Algunas Características Típicas de los Principales Amplificadores Ópticos.

En la tabla 2.4, se proporcionan algunos de los valores que permiten comparar algunas características de los amplificadores ópticos. En general, los SLAs son los que tienen una mayor figura de ruido pero son muy económicos y muy compactos. Los EDFAs son ampliamente utilizados en enlaces de grandes distancias, ya que ellos tienen una alta ganancia y una figura de ruido moderada. Los EDWAs tienen menos ganancia pero son más compactos y económicos que los EDFAs. Los amplificadores de Raman con su figura de ruido negativa son actualmente más frecuentemente utilizados que los EDFAs en las transmisiones de largas distancias.

Tabla 2.4

Comparación de Algunas Características de los Principales Amplificadores Ópticos

	SLA	RAMAN	EDFA	Híbrido RAMAN/EDFA	EDWA
Figura de Ruido N_F (dB) $(S/N)_{IN} / (S/N)_{OUT}$	6/10	-1/-3	4/7	3/4	4.5/7
Banda de Ganancia Típica (nm)	80 nm de ancho	1300 - 1700	1525-1620 bandas C+L	1525-1620 bandas C+L	Factiblemente banda C y L
Potencia Típica de la Bomba (mW)	100/300 eléctrica	150/1000 óptica	10/100 óptica	Bomba de Raman+EDFA	10/15
Típica Ganancia $G= 10\log(P_{in}/P_{out})$	20/30 dB	6/7 dB por Span	10/40	20/40	4 dB por cm 10/15 dB

2.5.- Routers, Cross-Connects y Add/Drops.

2.5.1.- Conexiones en las Redes WDM.

Las redes basadas en el encaminamiento y/o inserción/extracción de longitudes de ondas pueden ofrecer:

- **Transparencia óptica.** Esto significa que una variedad de formatos de tráfico y velocidades de transmisión pueden ser transmitidos sobre la capa física sin tener que hacer ningún tipo de modificación en el nodo óptico.
- **La carga de procesamiento es más pequeña y se reducen los retardos** entre los nodos intermedios al desviar el tráfico óptico no destinado a un nodo al nivel de la capa WDM tanto en redes de conmutación de circuitos como de paquetes.

La red global es generalmente descrita como un conjunto de capas de conexiones superpuestas: la capa física integrada por la subcapa de fibra y la capa óptica, y la capa lógica por conexiones y trayectos lógicos. Las conexiones virtuales entre los sistemas finales están soportadas por una red de conexiones lógicas en la capa lógica. Las conexiones pueden ser punto a punto, de punto a multipunto, de multipunto a punto o multicast. En una red óptica transparente el encaminamiento define los trayectos basándose en las longitudes de ondas, y si las longitudes de ondas pueden ser cambiadas a lo largo del trayecto óptico, el trayecto es llamado "virtual".

El diseñar una red óptica completamente transparente puede implicar tener muchos problemas que aún no están resueltos. La completa transparencia significa que no se utiliza un procesamiento electrónico digital y que la red ópticamente ejecuta todo el filtrado y la conmutación espacial y de longitudes de ondas con o sin conversión de longitudes de ondas a lo largo de todas las rutas de la red. Esto puede ser penalizado al pasar a través de cascadas de multiplexores, demultiplexores, routers pasivos o activos, cross-connects, add/droppers y diferentes clases de conmutadores en los diferentes nodos, así como también,

podría ser difícil realizar una operación, administración y mantenimiento de las tramas en una forma totalmente óptica. Entonces, frecuentemente se utilizan conversiones parciales o totales óptica/eléctrica/óptica en los nodos a través de los transponders con o sin translaciones de longitudes de ondas. En particular el uso de encabezados, similar a los encabezados de TDM, y el almacenamiento de las señales en el dominio óptico es difícil más no imposible en una red completamente transparente. Entonces, la red es frecuentemente “opaca” o parcialmente transparente, ya que utiliza la electrónica para llevar a cabo complejas operaciones no lineales, pero las señales se conservan en el dominio óptico para evitar un embotellamiento producto de redes de alta velocidad y altamente cargadas. Por lo tanto, en los nodos muy frecuentemente se utilizan dispositivos optoelectrónicos híbridos en los routers, add/droppers, y cross-connects.

2.5.2.- Conversión de Longitudes de Onda.

En toda red óptica “longitud de onda continua”, el trayecto de luz entre dos estaciones tiene una longitud de onda determinada que no puede ser cambiada a lo largo de la ruta. Si una nueva conexión requiere de una longitud de onda que ya esta asignada a otra conexión en el mismo trayecto, se procede a bloquearla, por lo tanto, dos conexiones no pueden usar la misma longitud de onda en la misma fibra. La conversión de longitud de onda en los nodos de la red habilita al sistema para evitar la presencia de bloqueos, mejorar la flexibilidad y la eficiencia.

Si la conversión optoelectrónica es aceptada, la señal óptica puede ser trasladada al dominio electrónico y posteriormente un láser sintonizable coloca la nueva longitud de onda.

Es muy importante destacar que el intercambio de longitudes de ondas mejora la utilización de recursos en las redes proporcionando una capacidad de restauración y para el crecimiento de tráfico. Las mejoras son particularmente importantes en redes con muchas longitudes de ondas y pocos enlaces de fibra.

2.5.3.-Clasificación de la Arquitectura de Red.

Para darle un eficiente uso al amplio ancho de banda que los canales ópticos pueden ofrecer, es necesario utilizar una multiplexación de longitud de onda, tiempo y espacio. Para conectar un circuito entre dos usuarios, una ruta, una ranura de tiempo y una longitud de onda, deben ser definidas, así como también, evitar la colisión (bloqueo) con otras conexiones simultáneas.

La arquitectura puede ser puramente óptica o puede incluir una o muchas redes lógicas. En el primer caso, se puede utilizar una transmisión pasiva a través de una topología en estrella o en forma de árbol, o cada conexión puede ser encaminada independientemente a través de la red con su propia frecuencia óptica por medio de routers ópticos dinámicos o estáticos, WSCX, o rehusar longitudes de ondas a través de un WICX. En el segundo caso, las capas que conforman la red óptica son conmutadas electrónicamente.

La evidente explosión de la Internet ha creado una demanda considerable de la capacidad y de la calidad en las redes internacionales. Muchos trabajos están siendo dedicados a la conmutación de redes DWDM con o sin translación de longitudes de ondas.

2.5.3.1.- Redes que Difunden y Seleccionan.

En muchas aplicaciones es posible emplear redes ópticas estáticas “difusión y selección” con conmutación en el dominio electrónico. Por ejemplo, diferentes estaciones pueden emitir longitudes de ondas específicas en la red óptica estática sobre una estrella central o un bus, donde todas las señales ópticas emitidas en las redes llegan a cada nodo, las cuales ópticamente se demultiplexan y electrónicamente se conmutan.

2.5.3.2.- Redes Encaminadas con Longitudes de Ondas.

En las redes que encaminan longitudes de ondas, la cross-conexión de las señales que han sido multiplexadas por división de longitud de onda se obtiene través de la selectividad estática o dinámica en los nodos de la red. La señal es dirigida a un nodo predeterminado, siendo esta emitida en la red desde cualquier nodo en una longitud de onda correspondiente al nodo destino. Se ha demostrado que para un conjunto de N nodos conectados a un multiplexor–acoplador central en una topología estrella, se necesita que cada nodo pueda escoger (N-1) longitudes de ondas de un conjunto de N longitudes de ondas fijas.

2.5.3.3.- Redes Encaminadas Lógicamente.

En las grandes redes, cuando los límites de la óptica son excedidos, llega a ser necesario agregar la conmutación electrónica. Al menos una parte del tráfico de la red que llega al nodo es demultiplexado en pequeñas unidades, electrónicamente procesado, encaminado, convertido y multiplexado de nuevo hacia las fibras salientes. Una conmutación lógica corresponde a una conmutación en el ámbito electrónico, ayudando a conservar una completa conexión en redes complejas con muchos nodos, donde alcanzar una total transparencia óptica no es mayormente posible o es también costoso, ya que requiere muchas longitudes de ondas y transceptores. Las redes SONET, ATM e IP son ejemplos típicos de redes encaminadas lógicamente.

2.5.3.4.- Arquitectura Multigranular de los Cross-Connects (XC).

Los cross-connects pueden estar hechos en capas que operan con diferente granularidad (Figura 2.35).

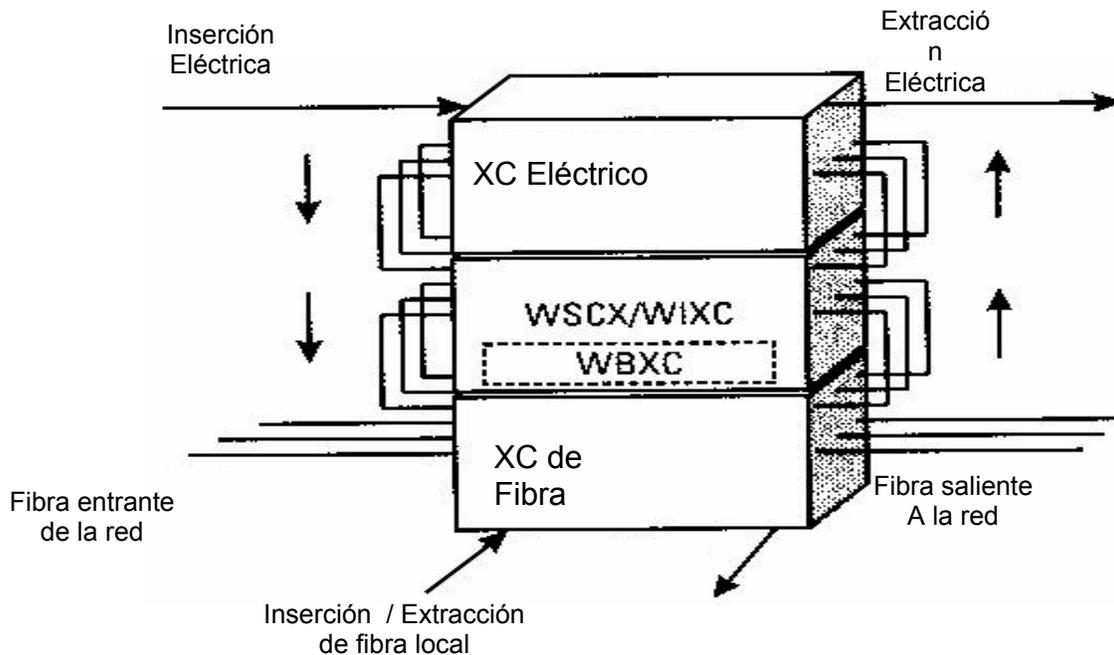


Figura 2.35 Multigranularidad del cross-connect.

- **Primera capa:**

Se realiza la cross-conexión de fibras que vienen o van hacia la red, inserción/extracción de fibras locales y de las fibras de comunicación con el cross-connect de longitud de onda que esta en la capa superior.

- **Segunda capa:**

Se realiza la cross-conexión de longitudes de ondas seleccionando longitudes de onda (WSCX), o intercambiando longitudes de ondas (WIXC), y se comunica con el cross-connect eléctrico de la capa superior.

- **Ultima capa:**

Se realiza la cross-conexión eléctrica.

El cross-connect utiliza una arquitectura dinámica que permite un eficiente encaminamiento en capas tan bajas como sea posible.

2.5.4.- Conmutadores Espaciales.

Un conmutador espacial interconecta las fibras que llegan al nodo óptico sin tomar en cuenta los atributos de las señales ópticas. Estos pueden ser utilizados para el encaminamiento del tráfico, reconfiguración, y restauración al nivel de la fibra. Es utilizado con multiplexores/demultiplexores por división de longitud de onda y/o routers estáticos permitiendo la conmutación de longitudes de ondas.

2.5.4.1.- Conmutadores Crossbar.

Un conmutador espacial óptico puede ser realizado con una simple configuración crossbar de tres etapas (Figura 2.36) conformada por un área de divisores pasivos, una matriz de conmutadores controlables on-off y un área de combinadores. Con N fibras de entrada y R fibras de salida se necesita N divisores (1 a R), $N \times R$ conmutadores on-off, y R combinadores ópticos (N a 1). En estos dispositivos la potencia de salida es $1/NR$. Han sido propuestos unos conmutadores crossbar híbridos de alta tasa de bit que utilizan una conversión eléctrica/óptica/eléctrica (E/O/E).

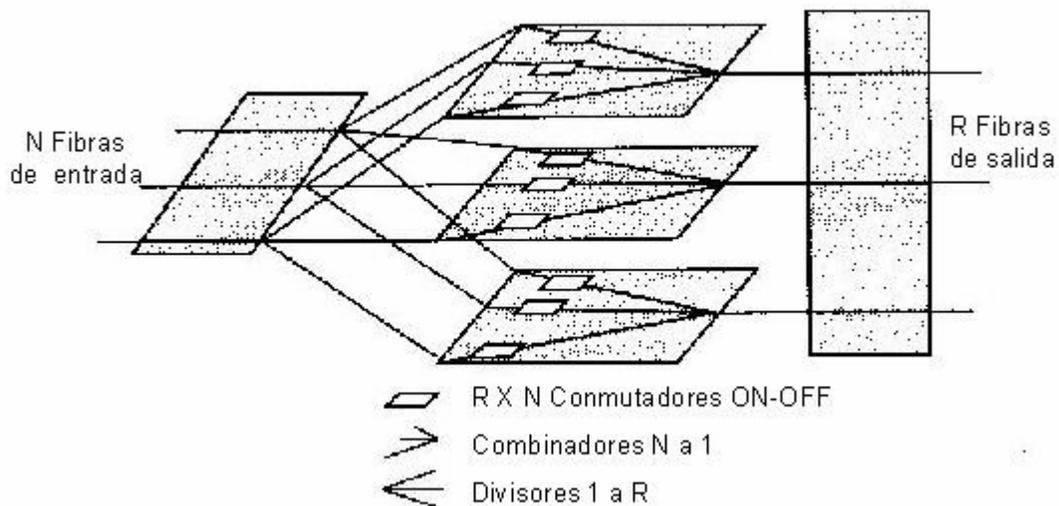


Figura 2.36 Arquitectura de una matriz Crossbar.

2.5.4.2.- Routers/Conmutadores Benes y Conmutadores Selectores.

Las grandes matrices de conmutación pueden ser construidas a partir de una ramificación tipo Y, y conmutadores de 1 X 2. Por ejemplo, en la figura 2.37 se tiene un conmutador de 4 x 4, el cual esta integrado por cuatro áreas de conmutación interconectadas. Este componente puede ser integrado y generalmente es llamado conmutador selector/router. Como se muestra en la figura, una especial regla de conexión permite que no exista bloqueo durante la permutación de las conexiones. En este dispositivo no hay teóricamente pérdidas por división como ocurre en la conmutación crossbar.

Los conmutadores Benes utilizan conmutadores de permutación 2 x 2. Un conmutador selector/router de N x N puertos requiere de $2N(N-1)$ elementos de conmutación, en cambio un conmutador crossbar tiene N^2 y un conmutador Benes $(2N\log_2N)$ elementos.

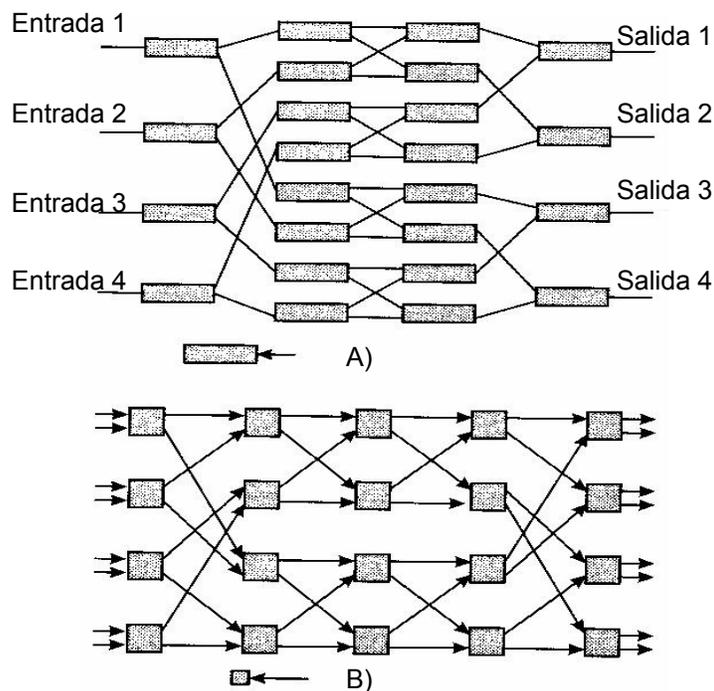


Figura 2.37 A) Conmutador selector/router de 4x4. B) Conmutador Benes de 8x8.

2.5.4.3.- Tecnologías Existentes en los Conmutadores.

En la conmutación óptica existen diversas tecnologías propuestas:

- Conmutación Optomecánica.
- Modificaciones Termo-ópticas.
- Efectos Cristal-Líquido.
- Modificaciones inducidas por voltajes en guías de ondas ópticas.
- XPM en SOAs.
- Efectos acustoópticos.

2.5.5.- Router Pasivo de Longitud de Onda.

En los nodos de (1, 2, 3,...i,...N) puertos de entrada y (1, 2, 3,...j,...M) puertos de salida, componentes pasivos permiten una cross-conexión selectiva de longitudes de ondas de N puertos de entrada por M puertos de salida. Estos componentes pueden conectar cualquier entrada i a cualquier salida j para una dada longitud de onda λ_{ij} .

2.5.5.1.- Nodos Interconectados con Multiplexores/Demultiplexores.

La cross-conexión puede ser hecha con demultiplexores/multiplexores WDM en una configuración back-to-back como se muestra en la figura 2.38. En estos nodos es posible intercambiar longitudes de ondas de cualquier fibra de entrada con cualquier fibra de salida. Por ejemplo, la λ_N del puerto de entrada 1 puede ser conectada al puerto de salida N, así como también la λ_N en el puerto de entrada N puede ser conectada al puerto de salida 1 sin que exista colisión. El trayecto óptico es determinado únicamente por su puerto de entrada y su longitud de onda. Una señal que llegue al puerto de entrada i , y que tenga una longitud de onda λ_k , es encaminada al puerto de salida j donde:

$$K = i + j - 1 \text{ para } i + j \leq N + 1 \text{ y}$$

$$k = i + j - 1 - N \text{ para } i + j \geq N + 2$$

(Ver tabla 2.5)

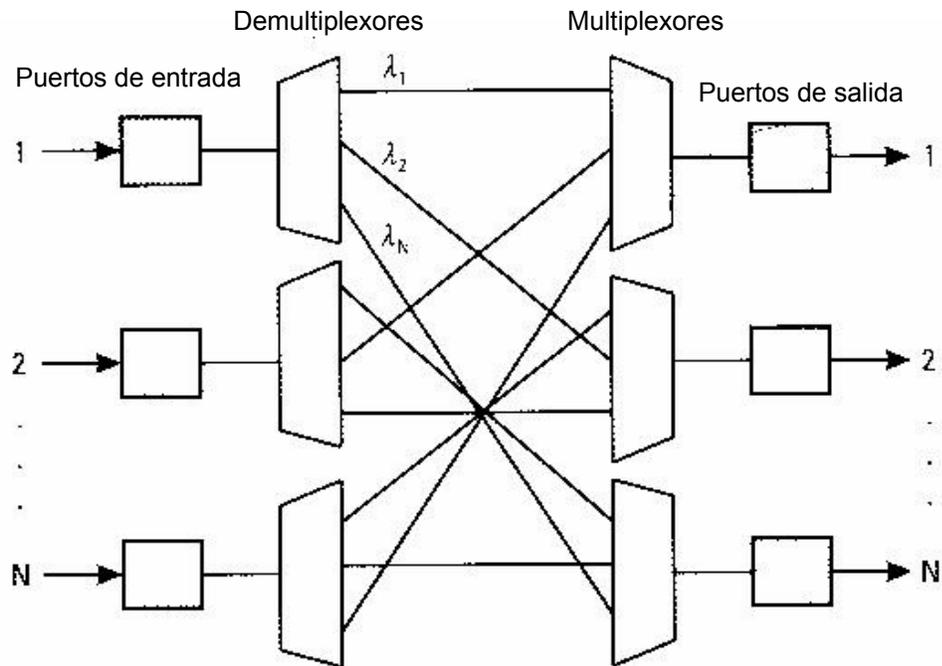


Figura 2.38 Típica cross-conexión WDM realizada con multiplexores y demultiplexores en una configuración back-to-back.

Tabla 2.5

Conexión de 4 Longitudes de Onda en Cualquier Puerto de Entrada (1 al 4) a Cualquier Puerto de Salida

INPUT/OUTPUT	1	2	3	4
1	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
2	λ_2	λ_3	λ_4	λ_1
3	λ_3	λ_4	λ_1	λ_2
4	λ_4	λ_1	λ_2	λ_3

En este caso, existe una doble pérdida en el proceso de demultiplexación y multiplexación y el encaminamiento es fijo y con la inclusión de un conmutador de espacio permitirá reacomodar las longitudes de onda.

2.5.5.2.- Routers Estáticos de Retículas.

Un simple componente de retículas puede conectar n entradas a n salidas, donde cada conexión desde la entrada i a la salida j requiere de una longitud de onda dada λ_{ij} (Figura 2.39).

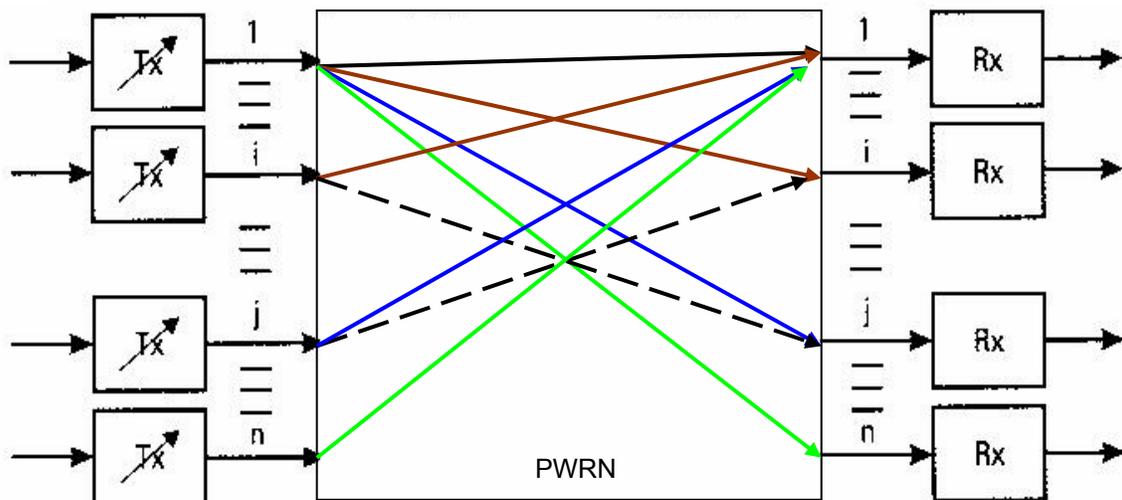


Figura 2.39 Router pasivo de longitud de onda con una configuración de retículas de difracción trabajando en un orden fijo de difracción.

Por ejemplo, en una configuración de retículas de difracción trabajando en un orden de difracción fijo, las longitudes de ondas son:

$$\lambda_{ij} \approx \lambda_0 + (i + j) \Delta\lambda \quad (2.23)$$

Donde $\Delta\lambda$ es el espacio constante entre canales y λ_0 es una longitud de onda constante. Este tipo de dispositivo provee una completa conectividad sin bloqueo entre cada puerto de entrada y salida. El no haber bloqueo en este caso significa que dos conexiones de dos diferentes entradas a una misma salida no se puede obtener si la longitud de onda es la misma. Es muy importante destacar que las arquitecturas de las redes ópticas pasivas basadas en estos componentes fueron diseñadas para establecer topologías virtuales.

2.5.5.2.1.- Aplicaciones Típicas.

Los routers estáticos son más tolerantes a las fallas que los cross-connects que también emplean dispositivos activos tales como conmutadores espacio-división. Sin embargo, el encaminamiento de los trayectos de luz entre fibras a través de un router estático depende únicamente de las longitudes de onda correspondientes al reducido rango.

Los routers pueden también ser utilizados en configuraciones particulares, por ejemplo, para realizar una amplificación óptica en enlaces bidireccionales.

2.5.5.2.2.- Routers Estáticos de Longitudes de Ondas Basados en una Configuración de Retículas de Difracción “Free Space”.

Actualmente están disponibles los routers de longitudes de ondas de alta densidad, los cuales se basan en la tecnología de retículas de difracción. Estos dispositivos hacen uso de planos dispersivos o retículas cóncavas para ubicar espacialmente y separar las longitudes de ondas obteniendo una separación en el orden de los subnanómetros en un doble arreglo de fibras (Figura 2.40) o incluso en un simple arreglo de fibra (Figura 2.41).

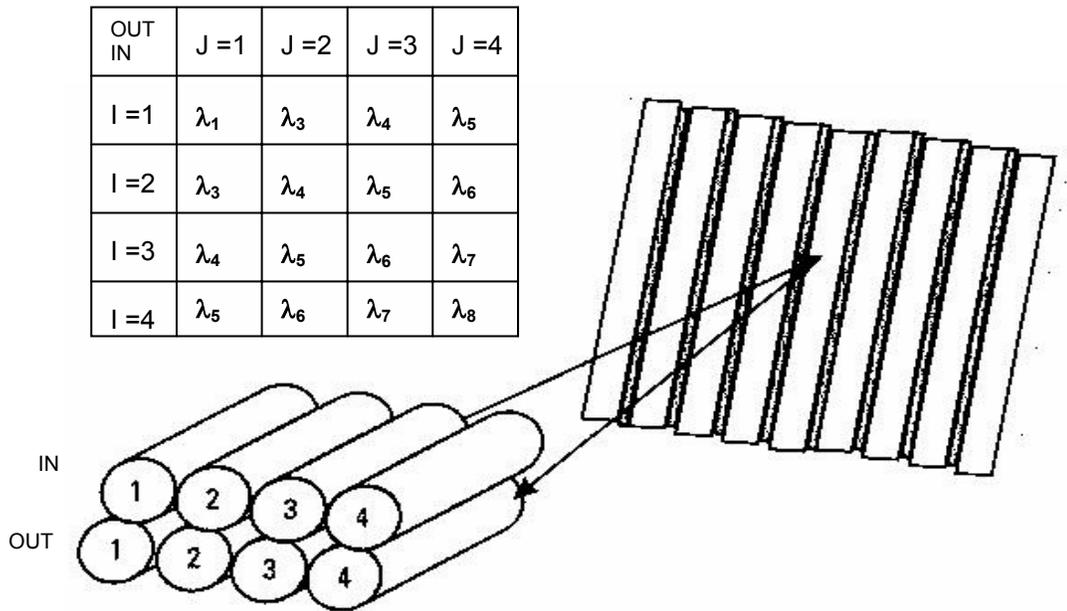


Figura 2.40 Router de retículas de difracción con doble arreglo de fibra.

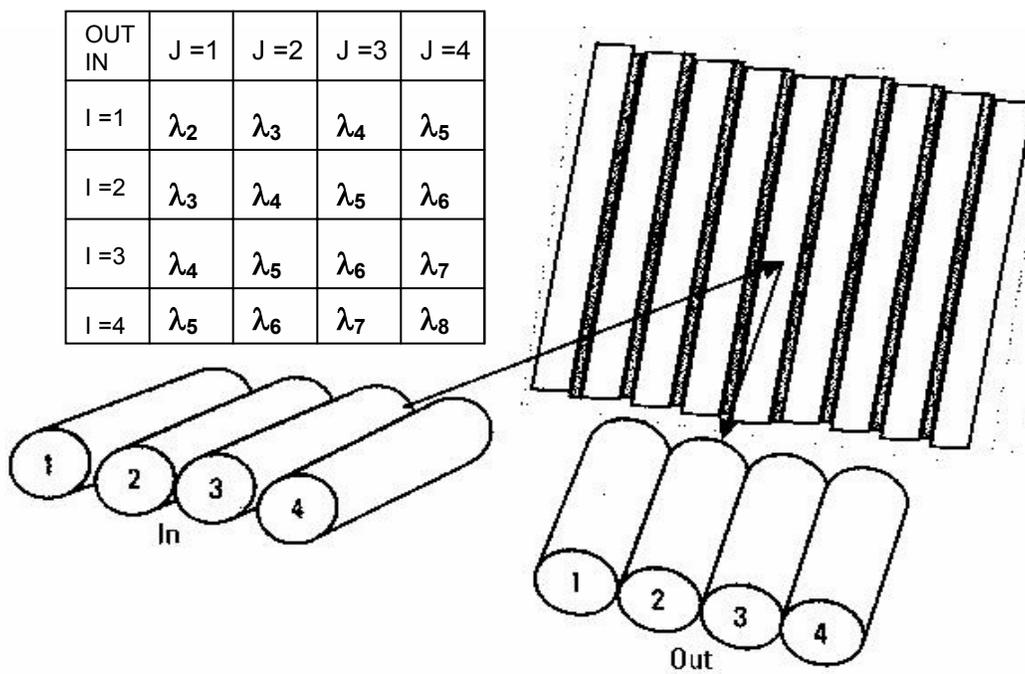


Figura 2.41 Router de retículas de difracción con simple arreglo de fibra.

- **Un Típico Dispositivo con Retículas Planas.**

Se ha logrado obtener routers estáticos con retículas de difracción con las capacidades de 22 X 22 y 25 X 26, y con una separación entre canales de 0.8 nm. En estos dispositivos un arreglo doble de fibra es colocado en silicio con ranuras en forma de V. El dispositivo es construido por completo en un bloque de silicio sólido (Figura 2.42). Las retículas de difracción planas son insertadas dentro del bloque de silicio colocando las longitudes de ondas provenientes de cualquier fibra de entrada de la primera fila de fibras en cualquier fibra de salida de la segunda fila de fibras.

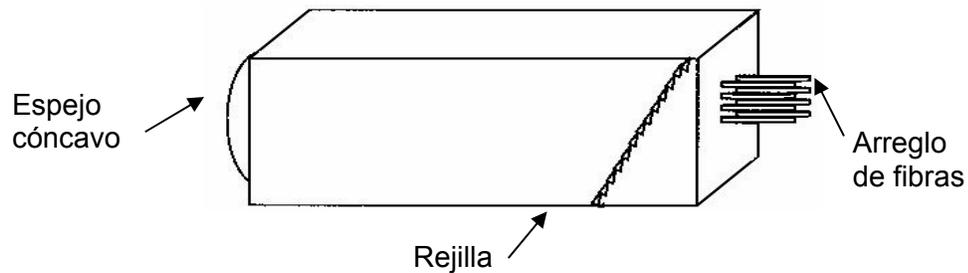


Figura 2.42 Configuración de un router de retículas de difracción. Una retícula de difracción plana es insertada dentro de un bloque de silicio.

- **Dispositivos con Retículas Cóncavas.**

Los routers basados en una configuración de retículas cóncavas han generados resultados impresionantes, ya que se ha podido obtener routers con la capacidad de 91 X 91 puertos y con una separación de 0.33 nm, y además con pérdidas menores que 1 dB y un nivel de crosstalk por debajo de -52 dB (Figura 2.43).

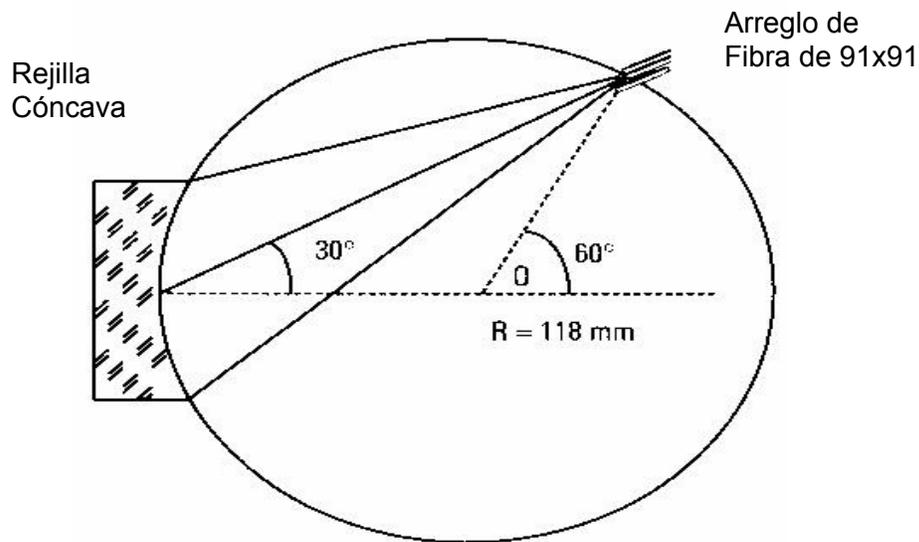


Figura 2.43 Router con retículas cóncavas.

2.5.5.2.3.- Router Estático de Longitud de Onda Basado en AWGs.

Se han obtenido routers estáticos de N puertos de entrada por M puertos de salida basados en AWGs. Con una fibra entrante i correspondiente al ángulo ϕ_i con respecto al frente de entrada de las guías de onda y una fibra de salida j correspondiente a un ángulo θ_j con respecto al frente de las guías de onda de salida (Figura 2.44), la longitud de onda seleccionada de la fibra de salida es:

$$\lambda_{ij} = \frac{1}{m[n_s d(\sin \phi_i + \sin \theta_j) + n_a \Delta L]} \quad (2.24)$$

Donde m es el orden de difracción, n_a es el índice efectivo del arreglo de guías de ondas, n_s es el índice efectivo del frente de las guías de ondas, d es la distancia entre dos guías de ondas adyacentes en el arreglo, y ΔL es la diferencia de longitud entre las guías adyacentes.

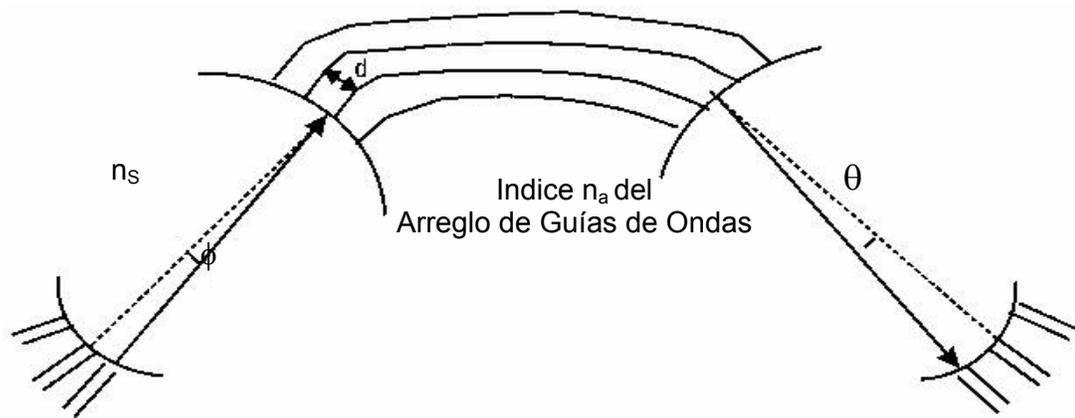


Figura 2.44 Router estático de longitud de onda conformado por un AWG.

2.5.6.- Cross-Connects Ópticos.

La principal función del cross-connect óptico (OXC) es la reconfiguración de la red al nivel de la fibra y de la longitud de onda, para restauraciones o acomodar cambios para una demanda de tráfico. El OXC tiene un rol en el dominio óptico similar al que tienen los sistemas de cross-conexión digital (DCS) en el dominio electrónico. El OXC es utilizado para interconectar anillos o diferentes nodos en una red mallada.

Actualmente el OXC híbrido convierte inicialmente los datos ópticos a datos electrónicos y luego utiliza un DCS para la cross-conexión, ya que no existe otra solución para la cross-conexión de un alto número de puertos de entrada a puertos de salida.

El número de puertos en un DCS puede estar en el orden de los miles, en cambio en un conmutador óptico esta en el orden de las decenas, aunque ya al nivel de laboratorio se tienen desarrollados conmutadores con cientos de puertos.

El OXC esta basado en conmutadores de espacio o en conmutadores espacio longitud de onda, como los WSXC o WIXC.

2.5.6.1.- WSXC (Wavelength Selective Cross Connect).

Algunos de ellos son llamados conmutadores selectivos de longitud de ondas. Una de las longitudes de ondas que llegan a uno de los N puertos es demultiplexada y luego va a un conmutador N x N que trabaja a esta longitud de onda especifica. Esta longitud de onda puede ser conmutada a cualquier puerto de salida después de ser multiplexada. N demultiplexores, J conmutadores y N multiplexores son usados en un nodo de N x N con J longitudes de ondas en una fibra (Figura 2.45).

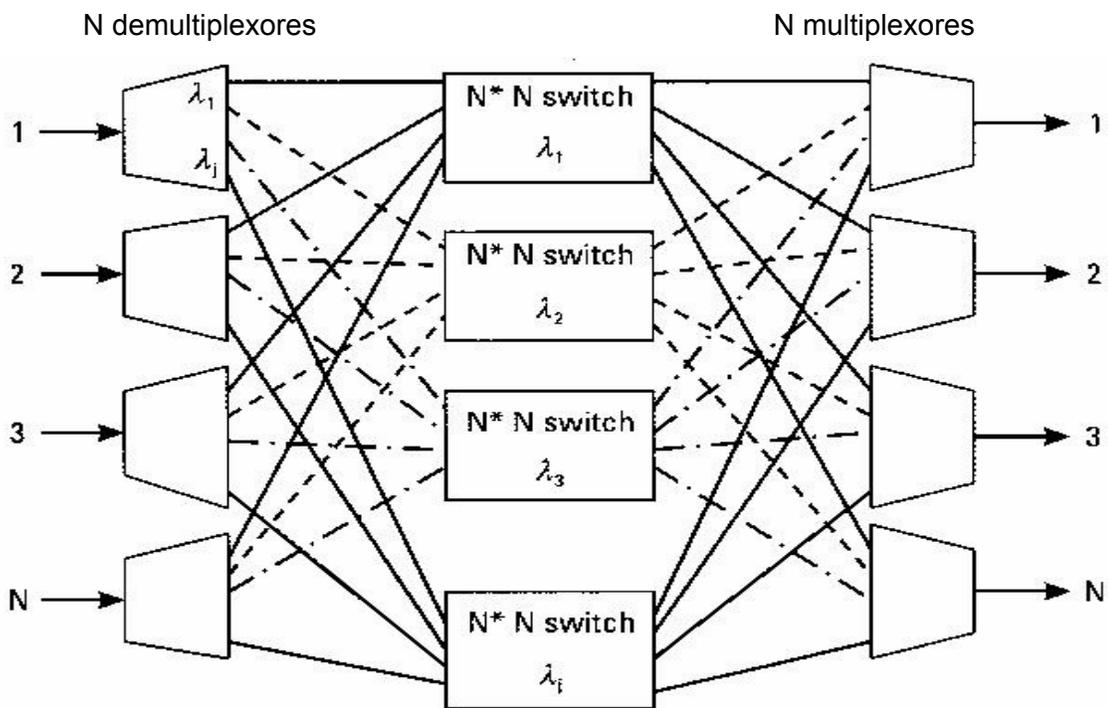


Figura 2.45 Cross-connect selectivo de longitud de onda.

2.5.6.1.1.- Tecnología Implementada en los WSXC.

Este componente puede estar constituido por multiplexores, demultiplexores y conmutadores ópticos individuales, así como también, puede estar hecho de diferentes clases de componentes WDM. También puede utilizar un único multi-

multiplexor que remplacé todos los multiplexores y demultiplexores en un sencillo y pequeño componente utilizando óptica tridimensional u óptica integrada.

Para pequeños valores de $N \times J$ está disponible componentes basados en óptica integrada, los cuales ya incluyen los conmutadores, en cambio para altos valores de $N \times J$ la solución preferida es la llamada óptica "free space".

Los WSXC integrados pueden ser fabricados con AWG o conmutadores ópticos, pero también existen arquitecturas particulares, en donde el conmutador puede ser reemplazado por routers activos de longitudes de ondas.

Un WSXC que soporte muy pocos puertos y longitudes de ondas puede estar elaborado a partir de FBGs y circuladores.

Por otro lado, existen WSXC específicos que utilizan filtros sintonizables y ecualizadores que están ubicados antes de los conmutadores de espacio y entre los divisores y los combinadores (Figura 2.46). Este tipo de dispositivo tiene muchas pérdidas debido a los divisores y a los combinadores, razón por la cual es necesario el uso de amplificadores ópticos en cada entrada y salida.

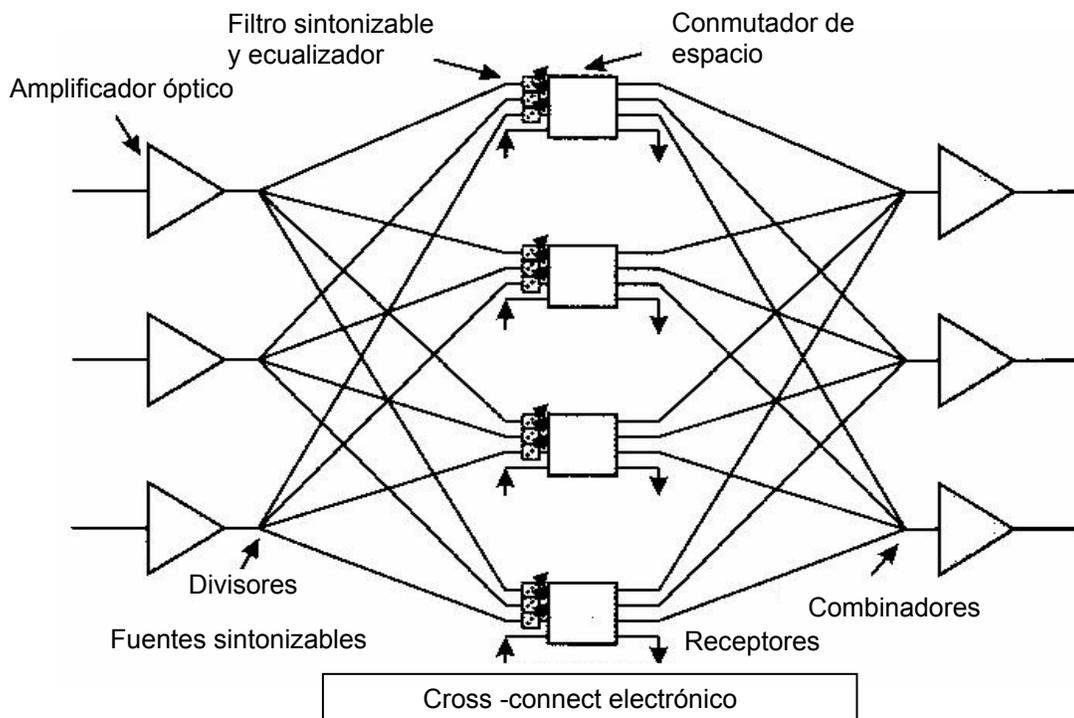


Figura 2.46 WSXC utilizando filtros sintonizables.

Una de las limitaciones que tienen los WSXCs es que generan un crosstalk en la señal. Si el crosstalk viene de los canales en la longitud de onda de la señal, es generalmente llamado crosstalk intrabanda. Ahora si crosstalk generado proviene de otras longitudes de ondas, entonces es llamado interbanda. El crosstalk intrabanda es acumulativo en cada nodo de la red, sin embargo algunas veces el crosstalk puede ser medido y parcialmente cancelado.

2.5.6.2.- Cross Connects con Conversores de Longitud de Onda.

La condición de continuidad de una longitud de onda a través del trayecto óptico es necesaria en todas las redes ópticas, pero esto puede conducir a un bloqueo cuando dos señales con igual longitud de onda requieren tomar la misma fibra o ruta. En la figura 2.47, se muestra como se cambia una longitud de onda de la señal que viene de A hacia F: λ_1 necesita ser convertida a λ_2 en el WXC para evitar un conflicto en el trayecto común con la señal que viene de C hacia E, la cual también tiene una longitud de onda λ_1 .

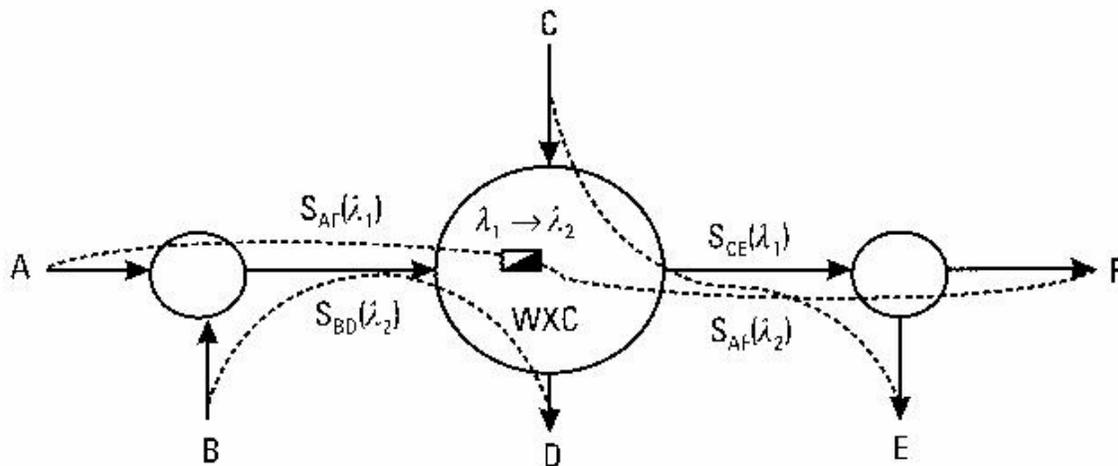


Figura 2.47 Ejemplo simplificado de un cross-connect de longitud de onda con conversión de longitud de onda.

2.5.7.- El OADM (Optical Add-Drop Multiplexer).

El OADM (Figura 2.48) es una unidad que puede extraer una longitud de onda λ_i de una multiplicidad de longitudes de ondas $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_i, \dots, \lambda_N$, que están multiplexadas en una fibra entrante, todas las otras longitudes de ondas son desviadas hacia la fibra transmisora, a la cual se le va a insertar la longitud onda λ_i generalmente conteniendo otra data distinta a la inicial. En general, el OADM puede ser definido como un dispositivo que:

- Demultiplexa algunas longitudes de ondas de la fibra entrante y las extrae localmente con o sin conversión optoelectrónica.
- Desvía las otras longitudes de ondas que llegan en la fibra entrante hacia la fibra saliente.
- Inserta longitudes de ondas de los subscriptores locales en la fibra saliente a través de un multiplexor por división de longitud de onda o un combinador.
- Es frecuentemente necesario la demultiplexación y multiplexación de las longitudes de ondas desviadas con las longitudes extraídas y/o con las longitudes de ondas insertadas.

El primer prototipo OADM fue diseñado aproximadamente en 1980, pero los primeros OADMs comerciales fueron desarrollados hace unos pocos años. Hasta el año 2000, estos fueron principalmente utilizados en estaciones terrenas y redes submarinas. Actualmente los OADMs se utilizan en aplicaciones como las redes de acceso y metropolitanas. Esta tecnología toma las ventajas que ofrecen dispositivos como los AWGs, los FBGs, guías de ondas acopladas a retículas, MZ, FP, y otros dispositivos interferométricos.

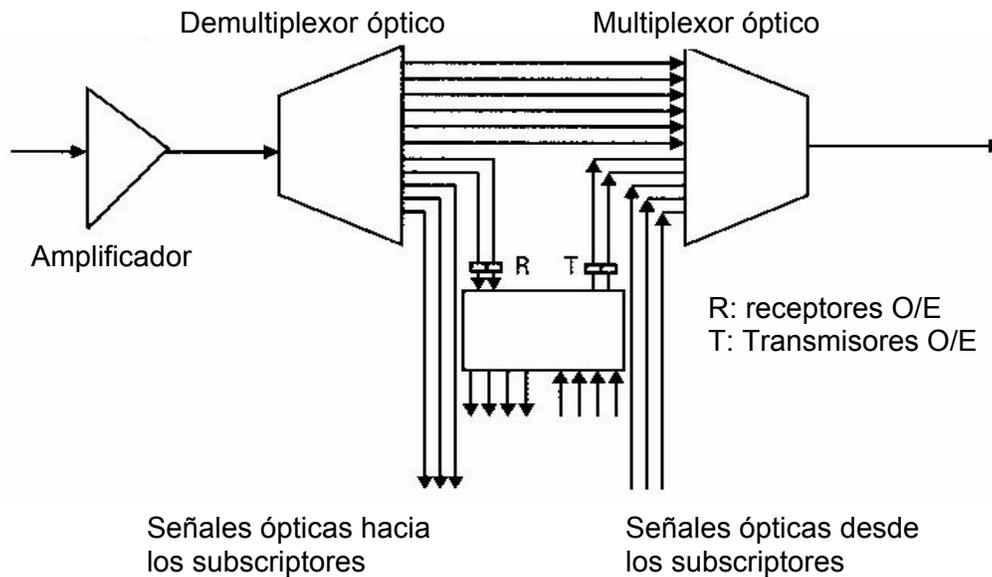


Figura 2.48 Típico OADM.

2.5.7.1.- OADM con FBGs y Circuladores.

Un OADM de pocos canales puede ser hecho con FBGs insertados entre circuladores, en la figura 2.49, se muestra la estructura para un solo canal. El WDM entrante pasa a través del primer circulador, luego un canal o longitud de onda va a ser reflejado por una rejilla de Bragg y extraído por el primer circulador. Similarmente, un canal en la misma longitud de onda puede ser insertado a través del segundo circulador al FBG, para luego acoplar la señal a la fibra saliente.

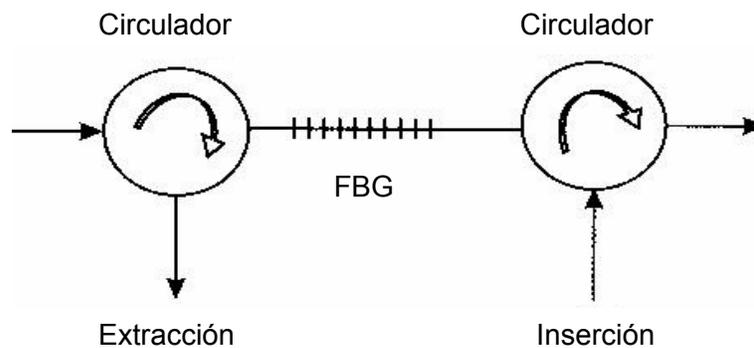


Figura 2.49 OADM con FBG y circuladores.

Este tipo de OADM tiene la ventaja que las pérdidas de inserción son bajas, típicamente en el orden de los 2.5 dB, y las aplicaciones prácticas de estos dispositivos es para las redes metropolitanas. El principal problema técnico son los corrimientos por temperatura, el cual es de 12 pm/°C para la sílica, por lo tanto, requiere de compensación de temperatura.

2.5.7.2.- OADM con AWGs.

Un diseño general de un OADM es como se muestra en la figura 2.50.

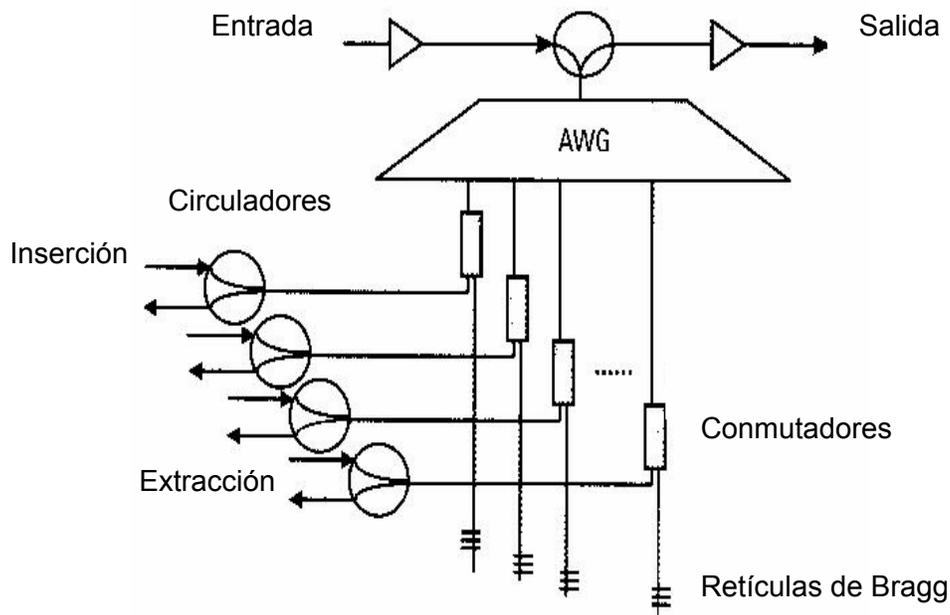


Figura 2.50 OADM con AWGs.

El OADM puede ser realizado con un AWG doble, con un router estático o con un AWG de doble paso. A través del uso del AWG de doble paso, FBGs y circuladores se puede eliminar el crosstalk intrabanda.

2.5.7.3.- Desempeño de los OADMs en Cascada.

En una red real tal como una SONET en anillo, los OADMs son colocados en cascada y generalmente uno en cada nodo. Entre los problemas que estos dispositivos pueden generar está la adición de pérdidas, el crosstalk, pérdidas por dispersión-polarización, dispersión por el modo de polarización y del decremento del ancho espectral de cada canal en cada unidad. Entre los diferentes componentes comerciales con los cuales se implementan los OADMs se tienen:

- Los OADMs con FBGs tienen las menores pérdidas (pérdida total in/out de 4 a 5 dB), un crosstalk intracanal (<-25 dB) y un crosstalk intercanal (<-50 dB).
- En cuanto a los OADMs que emplean los MZIs con FBGs y AWGs, en la tabla 2.6, se muestra una comparación de ambos sobre una red conformada por cuatro nodos OADM, cuatro canales con una velocidad de transmisión de 10 Gbps sobre una distancia de 400 Km, donde los OADMs que emplean los MZIs con FBGs son los que tienen el mejor desempeño al ser colocados en cascada, ya que tienen un mayor FWHM, un mejor aislamiento y el desplazamiento por temperatura es pequeño.

Tabla 2.6

Comparación de Dos Tipos de OADM

	MACH-ZEHNDER / BRAGG	AWG
Espaciado de Canal	100 GHz	100 GHz
Máximas pérdidas de inserción	5.5 dB	7.0 dB
Ancho de banda @ -3 dB	0.49 nm	0.33 nm
Mínimo aislamiento de canal	30 dB	22 dB
Típico desplazamiento térmico	0.001 nm / °C	0.01 nm / °C

2.6.- Limitaciones en WDM Causadas por las No Linealidades de la Fibra Óptica.

Al considerar que actualmente están disponibles fuentes ópticas con longitudes de ondas específicas que permiten un espaciado entre canales cada vez más pequeño, así como también, la factibilidad de obtener componentes que puedan soportar una gran cantidad de canales, se podría llegar a pensar que el número de canales no estaría ilimitado, esto no es verdad, ya que las no linealidades ópticas van a limitar la potencia óptica con la cual se van a transmitir las longitudes de ondas en la fibra óptica. Los efectos no lineales se producen en todos los dieléctricos cuando existen potencias ópticas suficientemente grandes (campos electromagnéticos muy intensos) propagándose por ellos. Debido a que el SiO₂ es un material con baja no-linealidad, hasta hace poco relativamente representaban efectos de segundo orden como la PMD. Pero con la aparición de los amplificadores ópticos, que introducen fuertes potencias luminosas en los pequeños núcleos de las fibras, y la utilización de nuevas multiplexaciones en longitud de onda (WDM) los efectos no lineales en las fibras ópticas son cada vez más importantes. Los efectos no lineales influyen en la capacidad de transmisión de los sistemas de comunicaciones ópticas a través de dos fenómenos básicos:

- El efecto Kerr, donde el índice de refracción no es independiente de la potencia óptica que se propaga por él. Los efectos relacionados con el efecto Kerr son:
 - Automodulación de fase (SPM).
 - Modulación de fase cruzada (XPM) (*solo en WDM*).
 - Mezcla de cuatro ondas (FWM) (*solo en WDM*).
- Los efectos de dispersión estimulada que ocurren cuando las señales ópticas interactúan con las ondas acústicas o con vibraciones moleculares en la fibra óptica. Hay dos formas de dispersión estimulada:
 - Dispersión estimulada de Brillouin (SBS).
 - Dispersión estimulada de Raman (SRS).

Todos estos efectos no lineales son localmente muy pequeños, pero pueden ser importantes por su acumulación a lo largo de una fibra de gran longitud. Estos generalmente degradan la calidad de la transmisión a través de pérdidas en la señal, el crosstalk intracanal o intercanal, el ensanchamiento del pulso o induciendo jitter. Por otro lado, los efectos no lineales pueden ser ventajosos en otros casos tales como: transmisiones de solitones, amplificación y conversión de longitudes de ondas.

2.6.1.- Automodulación de Fase (SPM).

En sistemas donde los trayectos son largos se requiere de altos niveles de potencia para alcanzar una razonable amplificación óptica con una alta tasa de bits. Las variaciones del índice de refracción debido a la intensidad del campo eléctrico de la señal luminosa causan el efecto Kerr, lo cual induce cambios en la fase de la señal, la cual conlleva a una SPM. Esta variación en el índice de refracción modula la fase de la señal, lo cual a su vez modifica el espectro de la señal. El pulso puede ser ensanchado por la SPM a través de una dispersión negativa (“régimen de dispersión normal”, figura 2.51) y puede ser acortado por SPM con una dispersión positiva (“régimen de dispersión anómalo”).

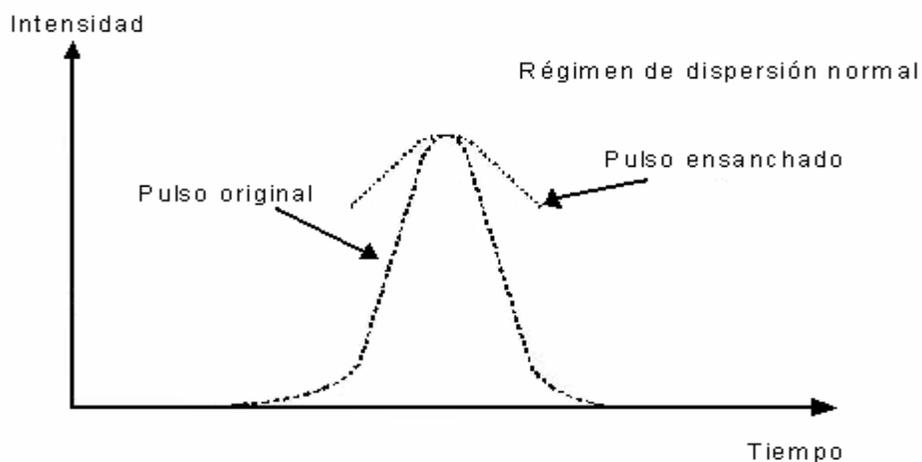


Figura 2.51 El pulso es ensanchado por SPM en una fibra de dispersión negativa.

En este último caso, el ensanchamiento producido por la dispersión cromática es reducido por la SPM. La fase cambia alrededor de π radianes para un watt de potencia de salida después de una propagación de 1 Km en una típica fibra monomodo en 1550 nm.

La dependencia entre la intensidad del campo eléctrico y el índice de refracción es descrita como:

$$n = n_0 + n_1 |E|^2 \quad (2.25)$$

Donde n es el índice del núcleo de la fibra que va a estar perturbado, n_0 es el índice no perturbado, y n_1 es el coeficiente de índice de refracción dependiente del campo y no lineal. Los cambios en el índice de refracción van a inducir un corrimiento en la fase cuando el pulso se desplace a lo largo de la fibra. Para definir el desplazamiento de fase del pulso producto de la SPM se tiene la siguiente ecuación.

$$\phi(SPM) = \int_0^L (\beta_{SPM} - \beta) dz = \int_0^L \gamma P(z) dz \Rightarrow \beta_{SPM} = \beta + \gamma P \quad (2.26)$$

$$\phi(SPM) = \gamma P_{in} L_{eff} \quad (2.27)$$

Donde:

- P_{in} es la potencia pico del pulso.
- L_{eff} es la longitud efectiva y se define como:

$$L_{eff} = \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} \quad (2.28)$$

$$\alpha = \frac{A}{10 \log e} \quad (2.29)$$

- Siendo α la atenuación constante de la fibra dada en (1/Km), A la máxima atenuación de la fibra y L es la longitud de la fibra.
- γ es el coeficiente de propagación no lineal y se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{2\pi n_1}{\lambda A_{eff}} \quad (2.30)$$

- Siendo A_{eff} el área efectiva de la fibra.

El umbral de la no-linealidad esta alrededor del 1.1 W. Km para las fibras G.655 y G.653, y 1.6 W. Km para la fibra G.652.

Por supuesto, SPM aumenta los problemas tanto en una transmisión monocanal como en una multicanal, excepto en una transmisión soliton y en otros casos específicos donde este efecto es utilizado, por ejemplo: la no-linealidad Kerr es utilizada en fibras de dispersión normal para mejorar el margen de fase en receptores ópticos RZ.

En la actualidad, los enlaces de alta transmisión deben considerar tanto los efectos de la dispersión, como los de la automodulación de fase en la optimización del sistema.

Por otro lado, se ha demostrado que una modulación duobinaria ofrece una mayor tolerancia a la dispersión e incrementa la eficiencia del ancho de banda, así como elimina los efectos SBS.

SPM limita la máxima longitud de los enlaces que transmiten a altas tasas de bits. Para una distancia y un ancho de banda dado, la relación señal óptica a ruido puede ser siempre incrementada a través del aumento de la potencia de salida pero hasta un punto donde la no-linealidad de la fibra comience a afectar la calidad de la señal.

El formato de dato RZ parece ventajoso para los sistemas limitados por efectos como la SPM. La codificación NRZ va a tener un desempeño igual o mejor

que el RZ, sobre todo al considerar otras no linealidades como el crosstalk intercanal, el cual ocurre en sistemas WDM.

2.6.2.- Modulación de Fase Cruzada (XPM).

La XPM es similar a la SPM, excepto que el desplazamiento de fase que se genera por la variación del índice es inducido por una señal de una longitud de onda λ_i en otro canal codireccional de una longitud de onda λ_j . Este efecto va a limitar la potencia pico que puede ser acoplada a la fibra. Por ejemplo, para tener un enlace de buena calidad con un grupo de canales de 2.5 Gbps alrededor de los 1550 nm y con un espaciado de 0.5 nm, no puede usarse una potencia de más de 10 mW por canal en una fibra monomodo estándar (sin dispersión desplazada) en una distancia de 720 Km. Se ha demostrado y calculado experimentalmente que la interferencia XPM es casi proporcional a $1/\Delta\lambda$, siendo $\Delta\lambda$ el espaciado entre los canales.

El desplazamiento de fase de un pulso en un canal puede ser estimado por la adaptación de la formula utilizada en el desplazamiento de fase de la SPM, como se indica a continuación.

$$\phi_{XPM} = \gamma \cdot L_{eff} (P_{TOTAL}) \quad (2.31)$$

Donde:

- P_{TOTAL} es la potencia total generada por los canales que forman parte del sistema DWDM.

Se ha demostrado que las degradaciones causadas tanto por el XPM como por el SPM en trayectos largos de fibra podrían ser cancelados utilizando un conjugador de fase óptico (OPC) y amplificadores de Raman, así como también, al decrementar el ancho del pulso.

2.6.3.- Mezcla de cuatro ondas (FWM).

2.6.3.1.- FWM Intercanal.

El FWM es un proceso no lineal que ocurre cuando dos o tres canales interactúan a través de la susceptibilidad eléctrica de la fibra óptica generándose nuevas ondas o armónicas. El FWM corresponde al choque entre señales de diferentes frecuencias. Cuando se propagan dos canales con frecuencias ν_i y ν_j por una misma fibra se generan dos ondas adicionales en las frecuencias $\nu_i - (\nu_j - \nu_i)$ y $\nu_j + (\nu_j - \nu_i)$, pero su intensidad es más débil que al ser producido por la mezcla de tres frecuencias (Figura 2.52). Ahora bien, cuando se tienen 3 canales en las frecuencias ν_i , ν_j y ν_k se generan nueve armónicas adicionales en las frecuencias:

$$\nu_{ijk} = \nu_i + \nu_j - \nu_k \quad \text{donde } i, j, k \in (1:3)$$

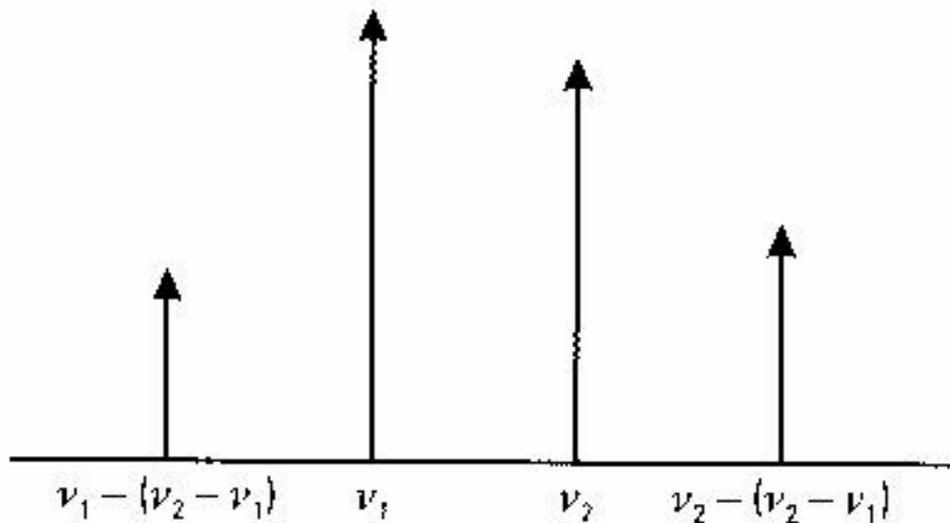


Figura 2.52 Señales en las frecuencias ν_1 y ν_2 y sus armónicas FWM

Estas armónicas generan un ruido adicional que es particularmente dañino si alcanza a otros canales WDM adyacentes. De N longitudes de ondas originales

se pueden generar $N^2(N-1)/2$ nuevas longitudes de ondas. Sí $(\nu_i - \nu_j = \Delta\nu)$, la primera armónica esta en las frecuencias $(\nu-\Delta\nu)$ y $(\nu+\Delta\nu)$; consecuentemente, el crosstalk es máximo en los canales WDM cuando el espaciado entre las frecuencias son iguales (Figura 2.53).

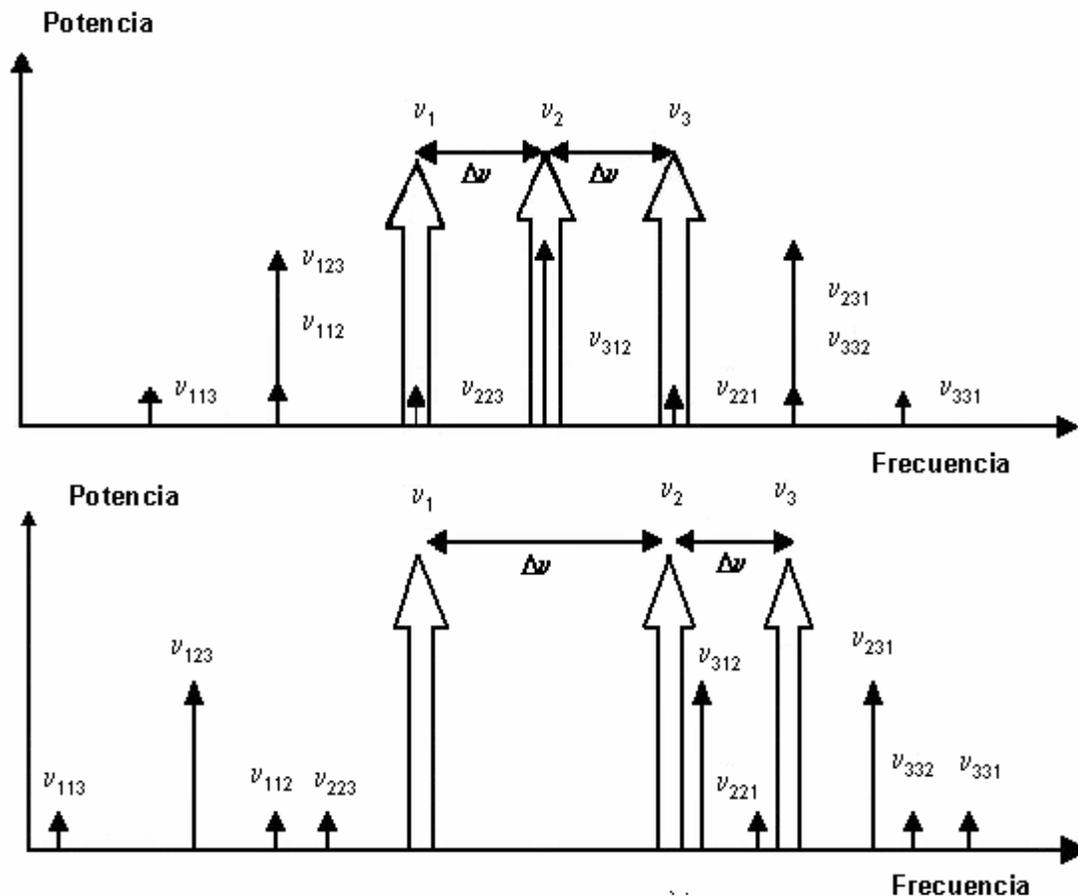


Figura 2.53 Señales en las frecuencias ν_1 , ν_2 y ν_3 y sus nueve armónicas FWM, (a) La señal de los canales se ve afectada por un espaciado constante entre los canales, (b) la señal de los canales no se ve afectada cuando la frecuencia de separación es $\Delta\nu$ y $2\Delta\nu$.

Desdichadamente el estándar de la ITU ha colocado las frecuencias de los canales con un espaciado constante ($\Delta\nu = 100$ GHz). Pero es posible utilizar en los canales seleccionados de la ITU un espaciado desigual para reducir el crosstalk FWM. Ha sido demostrado que con un pequeño corrimiento de 5 GHz

desde la frecuencia central de un canal dado en una multiplexación de 16 canales y espaciados 100 GHz se puede decrementar el BER (Bit Error Rate) significativamente. Este corrimiento de frecuencia (5 GHz) aplicado al canal esta dentro de la tolerancia de la frecuencia recomendadas por la ITU.

La eficiencia de FWM es proporcional a $P_{CH} / (\Delta\lambda^4 D^2)$, donde P_{CH} es la potencia en los canales interferentes, $\Delta\lambda$ es la separación entre los canales y D es la dispersión. La potencia generada en los canales adyacentes es también proporcional a $(1/A_{eff})^2$. El FWM es problemático para las fibras G.653, más no tanto en las fibras G.655 que tienen una mayor área efectiva.

- El FWM incrementa con la potencia de la señal óptica, por lo tanto, la distancia máxima entre amplificadores repetidores es reducida por el FWM.
- FWM incrementa en la medida que el espaciado entre frecuencias disminuye, así que en la práctica hay una limitación en cuanto al espaciado.
- FWM depende de la relativa polarización entre las señales afectadas.
- El efecto de la dispersión cromática de la fibra en FWM es crítico.

Actualmente el FWM es la principal limitación de los sistemas DWDM que utilizan fibras de dispersión desplazada cercanas a la región de cero dispersión (DSF), ya que las armónicas permanecen en fase con las señales originales sobre largas distancias y el efecto es acumulativo. Al utilizar fibras estándar, las cuales son usadas en muchas redes (dispersión de 16 ps/nm.Km) el efecto FWM es menos importante.

Existe un tipo de fibra óptica llamada fibras de dispersión desplazada no-cero (NZ-DSF) que han sustituido a las fibras de dispersión desplazada normales (DSF), donde la dispersión es pequeña para que no se acumule demasiado, pero es suficiente para disminuir los problemas del FWM. La fibra LEAF es un tipo de fibra NZ-DSF que contiene además una anchura efectiva más grande de lo normal, lo que reduce el parámetro no lineal γ (Figura 2.54). Por ejemplo, comercialmente están disponibles las siguientes fibras (Banda C):

- TrueWave Fibers (Corning):
 - Atenuación de 0.20 dB/Km.
 - Dispersión cromática de 2.4 ps/nm.Km.
 - Dispersión del modo de polarización de 0.05 ps/Km.
 - No-linealidad del área efectiva es $54 \mu\text{m}^2$.
- TrueWave Fibers-RS(Corning):
 - Dispersión cromática de 3.7 ps/nm.Km.
 - Pendiente $0.058 \text{ ps/nm}^2\text{Km}$.
 - No-linealidad del área efectiva es $65 \mu\text{m}^2$.
- E-LEAF (Corning):
 - Dispersión cromática de 4.2 ps/nm-Km.
 - Pendiente $0.084 \text{ ps/nm}^2\text{Km}$.
 - No-linealidad del área efectiva es $72 \mu\text{m}^2$.

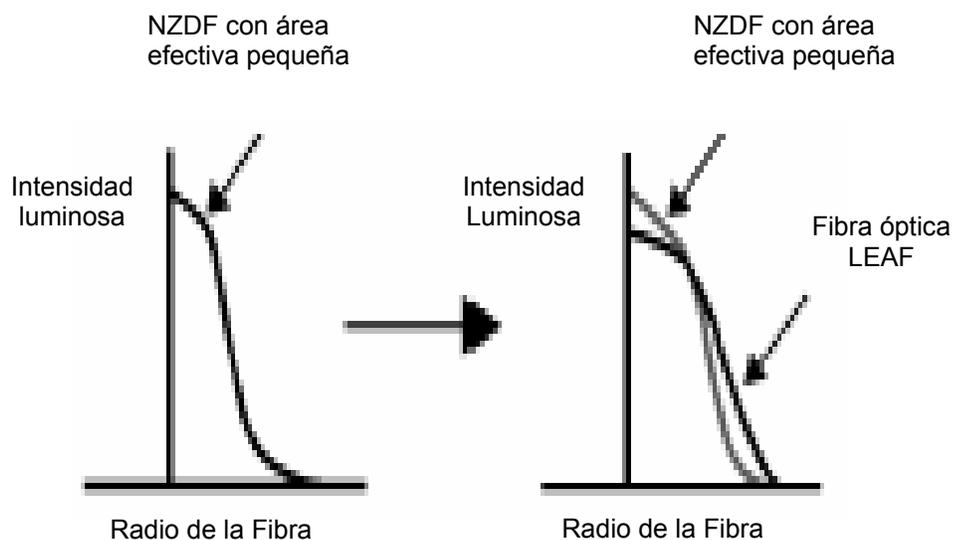


Figura 2.54 Comparación de una fibra óptica NZDF con una LEAF frente a la intensidad luminosa.

En la figura 2.55, se muestra una gráfica comparativa de estos diferentes tipos de fibras ópticas frente a la dispersión.

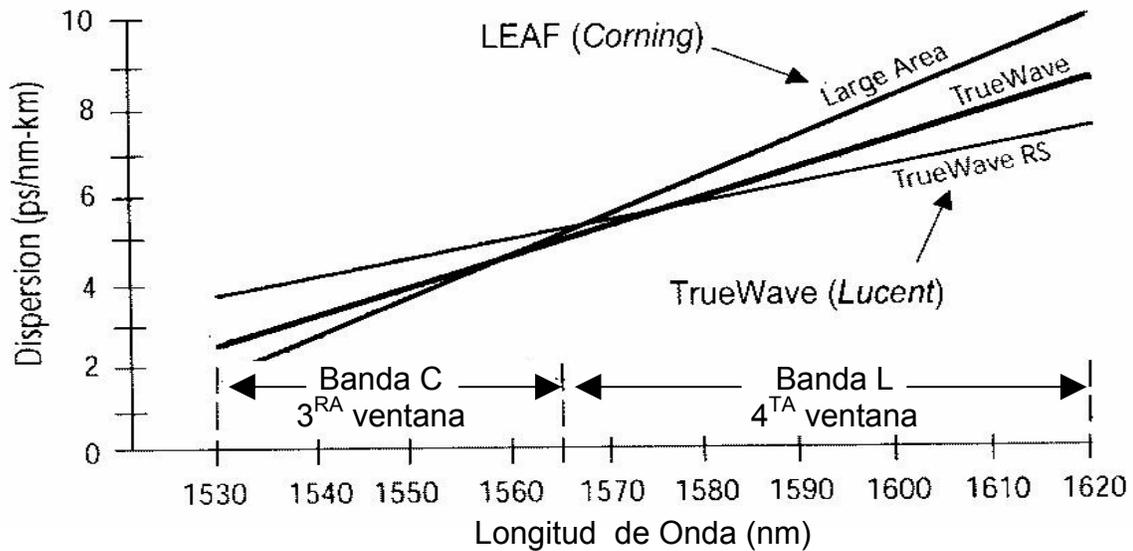


Figura 2.55 Comportamientos de los diferentes tipos de fibras ópticas frente a la dispersión.

2.6.3.2.- FWM Intracanal (IFWM).

En las transmisiones de elevadas tasas de bits y con dispersión controlada el IFWM es uno de los factores limitativos. Esto conduce a un solapamiento de los pulsos ensanchados por la dispersión de la fibra, lo cual genera pulsos fantasmas en los ceros. El IFWM puede ser reducido con el diseño de un óptimo mapa de dispersión

2.6.4.- Dispersión Estimulada de Raman (SRS).

La dispersión de Raman se refiere a la interacción que sufren las ondas ópticas con las vibraciones moleculares del material. Las ondas incidentes se dispersan al chocar con las moléculas y experimentan una reducción de su frecuencia óptica.

Este desplazamiento de frecuencia coincide precisamente con la frecuencia de vibración de las moléculas, la cual se denomina frecuencia de Stokes.

Un aspecto a tomar en cuenta, es cuando se inyectan simultáneamente dos ondas ópticas separadas por la frecuencia de Stokes en un medio Raman activo, donde la onda de menor frecuencia experimentará una ganancia óptica generada a expensas de la onda de mayor frecuencia (bombeo). Este proceso de ganancia es lo que se conoce como la Dispersión Estimulada de Raman y constituye la base para la fabricación de los amplificadores ópticos de Raman.

La eficiencia del proceso no lineal es directamente proporcional a la potencia de bombeo, la longitud efectiva de la fibra y un coeficiente de ganancia que depende del material, e inversamente proporcional al área efectiva de la fibra. El coeficiente de ganancia de Raman crece de forma aproximadamente lineal hasta una separación entre portadoras de 15 THz. Para una longitud de onda de 1550 nm, el coeficiente de ganancia de Raman posee un valor máximo en torno a los $7 \cdot 10^{-12}$ cm/W (Figura 2.56).

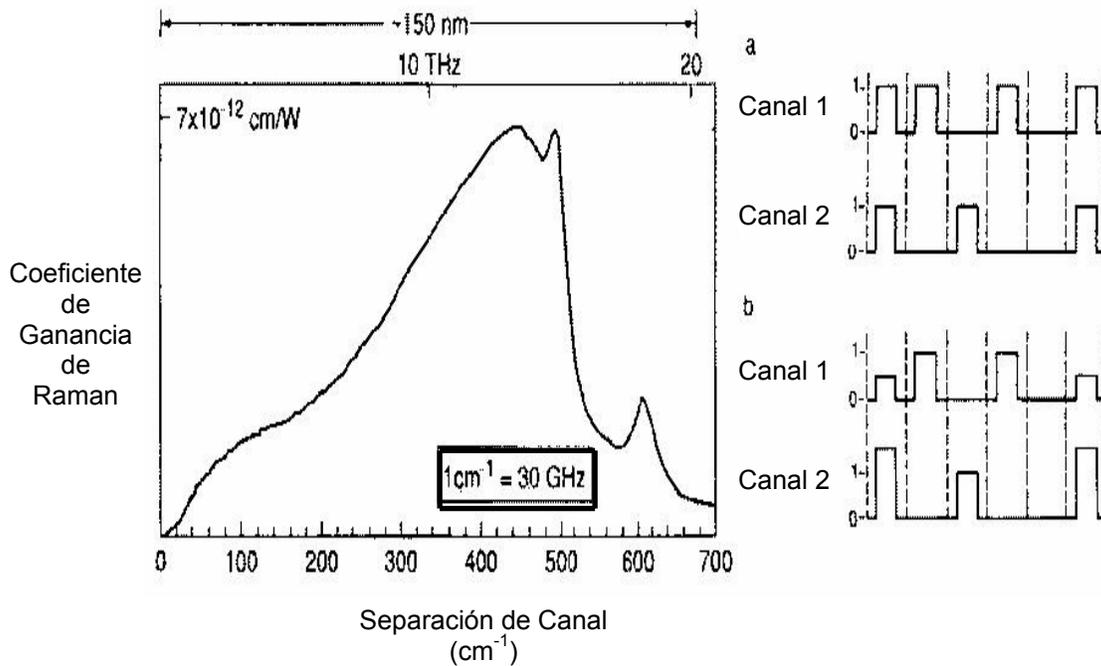


Figura 2.56 Coeficiente de Ganancia de Raman en la región de 1550 nm.

En el caso de un sistema óptico monocanal puede generarse emisión espontánea de Raman que posteriormente sea amplificada. No obstante, para que se produzca una degradación significativa son necesarias potencias ópticas del orden de 1W, en cambio en los sistemas WDM la situación es diferente, dado que ahora existe una multitud de canales y los canales situados a longitudes de ondas superiores serán amplificadas por los canales situados a longitudes de ondas inferiores.

En la región de los 1550 nm, el perfil de ganancia Raman del sílice acoplará canales separados hasta 100 nm, por lo que la degradación se producirá para potencias ópticas bastantes inferiores. Para unos cuantos canales el límite de la potencia decrece como $1/N$, debido a que el espectro de Raman es bastante ancho y las potencias de todos los canales contribuyen al proceso SRS. Conforme se añaden más canales, el ancho de banda óptico ocupado aumenta y las interacciones entre canales resultan más significativas, decreciendo el límite de potencia óptica como $1/N^2$. Recientes estudios teóricos y experimentales han demostrado que en un sistema WDM la SRS conduce a una distribución de potencia exponencial en los canales que aumenta con la distancia.

2.6.5.- Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS).

La SBS corresponde a la interacción del campo electromagnético con las vibraciones acústicas de la red. Esto significa que la energía aportada a la red por cada fotón es muy pequeña y la longitud de onda de la luz dispersada está muy cercana a la que la origino: típicamente 20 GHz.

El ancho de banda de la SBS es de unos 20 MHz a 1550 nm y varía inversamente proporcional al cuadrado de la longitud de onda. En este caso la máxima ganancia de la SBS se producirá para láseres con anchos de línea inferiores a los 20 MHz. Adicionalmente y a diferencia de la SRS, la SBS puede actuar en ambas direcciones, de modo que la SBS se puede propagar en dirección opuesta a la de bombeo, generando una onda reflejada hacia el transmisor y provocando la atenuación de la potencia óptica inyectada. En el caso

de fibras estándar operando a 1550 nm, la onda dispersada se encuentra desplazada con respecto a la onda incidente a una frecuencia de unos 11 GHz.

El umbral de este efecto no lineal depende del ancho espectral de la fuente y de la densidad de potencia en la fibra. La limitación de la potencia de transmisión debido a la SBS no depende del número de canales y es más de unos pocos dBm en aplicaciones típicas. El umbral de potencia SBS viene dado por:

$$P_{THR} = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} \left[1 + \frac{\Delta \nu_P}{\Delta \nu_B} \right] \quad (2.32)$$

Donde $\Delta \nu_P$ y $\Delta \nu_B$ son los anchos de línea del láser de entrada y de la línea de Brillouin, A_{eff} y L_{eff} son el área efectiva del núcleo y la longitud efectiva de la fibra, y g_B es la ganancia de Brillouin en la fibra.

Las fibras con un área efectiva de núcleo mayor tienen una densidad de potencia mucho más pequeña que las fibras estándar, por lo tanto, el umbral es mayor y el efecto SBS es más pequeño. El umbral típico SBS es cercano a los 10 dBm para una fuente CW. El umbral puede incrementar 3 dB cuando la fuente es modulada externamente. También el empleo de formatos de modulación cuya velocidad de modulación sea elevada va a permitir incrementar el umbral SBS o disminuir la amplificación estimulada de Brillouin, como es el caso del formato PSK que permite reducciones mayores que al utilizar modulaciones ASK o FSK.

Como el umbral SBS puede ser incrementado de diferentes maneras, generalmente SBS no es un gran problema para los enlaces con multiplexación por división de longitud de onda y el impacto en el desempeño del sistema es relativamente pequeño.

2.6.6.- Conclusiones.

Los sistemas de transmisión sobre fibra óptica logran un incremento en la capacidad a partir de un aumento de la tasa de transmisión y del número de canales o longitudes de onda. En ambos casos se requiere necesariamente

aumentar la potencia de salida, sin embargo, la potencia va a estar limitada por las no linealidades.

Los enlaces con altas tasas de transmisión (40 Gbps) sobre fibra monomodo estándar, la principal limitación teórica es la automodulación de fase (SPM). La SPM es el mayor problema en las transmisiones ópticas monocanales, como también en las transmisiones ópticas WDM. Sin embargo, en muchos casos la dispersión por el modo de polarización de las fibras llega a limitar la velocidad de transmisión a valores más pequeños.

En sistemas DWDM la velocidad de transmisión es mucho más pequeña, y el principal problema proviene de las no linealidades que están relacionadas al FWM cuando se usan fibras de dispersión cercana a cero, lo cual limita la potencia de transmisión. FWM tiene un pequeño impacto en las fibras monomodo estándar con dispersión no desplazada, pero el FWM es un problema con las fibras con dispersión compensada.

La XPM, SBS y SRS también se tienen que tomar en cuenta. La XPM satura con incrementos del número de canales, La SRS incrementa cuando el rango de las longitudes de onda es más ancho. La SBS tiene un pequeño impacto con el ancho de línea de la fuente, que puede generalmente ser ensanchado para reducir este particular efecto no lineal.

Las fibras que tienen una mayor área efectiva en el núcleo permiten una menor densidad de potencia y así se disminuyen los efectos no lineales para una potencia de transmisión dada. Sin embargo, la dispersión cromática del enlace requiere ser controlada, por lo tanto, frecuentemente en los enlaces TDM-WDM de alta tasa de bits y de largos trayectos, se utilizan fibras de dispersión no-cero y con dispersión compensada (Figura 2.57).

En una arquitectura de un sistema dado, la mejor solución corresponderá a buscar un balance entre la compensación de la dispersión en la fibra, la potencia de salida de la señal y los acumulativos crosstalk.

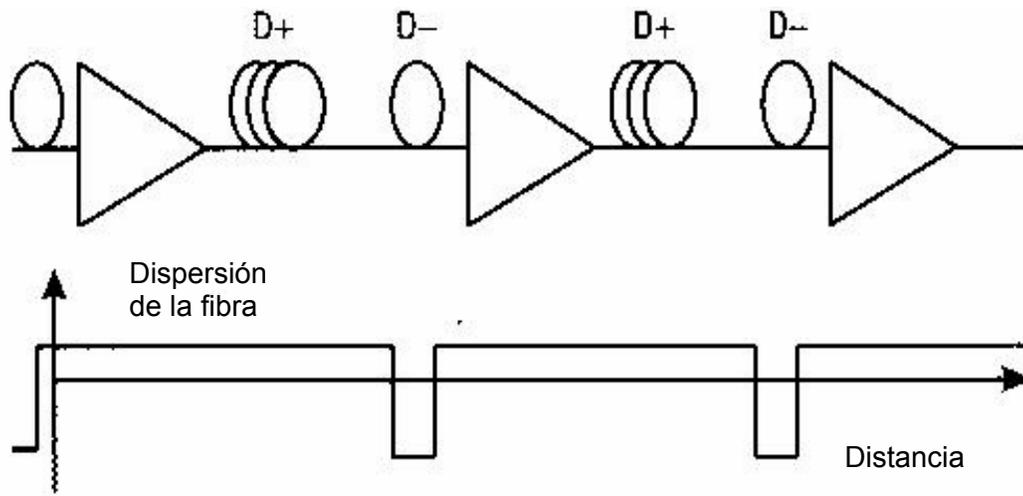


Figura 2.57 Técnica para controlar la dispersión. Los largos trayectos de fibra estándar o con una dispersión promedio baja (NZ-DSF) al ser combinadas con segmentos de fibra con una alta dispersión local de signo opuesto limitan los efectos no lineales.

2.7.- Desempeño del Sistema de Transmisión.

El desempeño del sistema de transmisión es generalmente caracterizado por el Bit Error Rate (BER), el cual requiere ser menor de 10^{-12} para muchos sistemas al final del enlace. Por ejemplo: SONET especifica que el BER debe ser $\leq 10^{-10}$, Gigabit Ethernet y Fibre Channel requieren un $\text{BER} \leq 10^{-12}$. La caracterización del sistema no es fácil realizarla a través de la medición directa del BER, ya que tomaría tiempos considerables para valores bajos de BER. Para solucionar esta dificultad se han desarrollado técnicas experimentales para estimar el valor de un bajo BER y modelos teóricos para predecir el desempeño del sistema al principio y final del enlace.

Los bajos valores de BER son frecuentemente estimados degradando el sistema BER de una manera controlada. Una técnica común es incrementar el BER reduciendo la potencia recibida, esta técnica es particularmente ideal para un enlace sin repetidores, el cual no utiliza amplificadores ópticos de línea (ILA). En

este caso la degradación del desempeño introducida por la fibra o cualquier otro componente puede ser obtenida por la comparación del BER como una función de la potencia recibida con y sin la fibra o los componentes ópticos bajo estudio. La diferencia en la potencia óptica recibida y la requerida para llegar a un valor específico de BER es definida como penalidad de potencia y es equivalente a un incremento de la potencia de transmisión para restablecer el BER back to back o decrementar las pérdidas del trayecto. Esta técnica es también conveniente para los incrementos del BER sobre el tiempo de vida del sistema y muchas degradaciones comunes, como es la reducción de potencia del transmisor e incremento de las pérdidas del trayecto debido a los cortes de fibra, los cuales reducirían la potencia de recepción. El valor de esta técnica se reduce en sistemas amplificados donde muchas degradaciones no resultan en reducir la potencia en el receptor, sino más bien en reducir la relación señal a ruido (SNR). Además, incrementando la potencia de transmisión o reduciendo las pérdidas del trayecto por el valor de la penalidad de potencia no restaurará el valor del BER. En realidad, incrementar la potencia del transmisor puede actualmente degradar el desempeño del sistema si los efectos no lineales están presentes.

Otra manera de estimar el BER es degradando el desempeño del sistema a través del desplazamiento del valor del umbral de decisión en el receptor. Esta técnica tiene la ventaja adicional que permite estimar de una forma muy fácil el valor de Q del sistema, el cual es más fácil de modelar que el BER. El parámetro o factor Q es definido como:

$$Q = \frac{i(1) - i(0)}{\sigma(1) + \sigma(0)} \quad (2.33)$$

Donde $i(1)$ y $i(0)$ son los principales valores de las corrientes producidas por los 1's y 0's respectivamente, mientras las varianzas $\sigma(1)$ y $\sigma(0)$ representan el ruido en los 1's y 0's. La influencia del ruido en la señal determinará la sensibilidad del sistema. La porción del receptor que genera mayor ruido es el conversor óptico –

eléctrico, el cual está conformado por el fotodetector y el amplificador de transimpedancia.

El factor Q representa la relación señal a ruido óptica para un sistema de comunicación óptico binario. Este combina por separado los SNRs asociados con los niveles altos y bajos en todo el SNR del sistema. La forma del factor Q dada en la ecuación anterior simplifica la medición del SNR y el cálculo del BER teórico debido al ruido aditivo aleatorio.

El factor Q está relacionado al BER a través de la siguiente ecuación:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (2.34)$$

Siempre y cuando el ruido del sistema siga las estadísticas gaussianas. Aún cuando el ruido presente en los sistemas amplificados ópticamente no sea gaussiano, esta es una buena aproximación para un $BER < 10^{-4}$. El valor de Q para unos pocos valores de BER es dado en la siguiente figura, donde se aprecia que para pequeños cambios en Q se genera un gran cambio en el BER.

La penalidad de Q en el sistema es frecuentemente expresada en decibeles (dB), así como también, las penalidades ópticas introducidas por la fibra óptica. La definición de Q en decibeles es la siguiente:

$$Q(dB) = 10 \log(Q_{lineal}) \quad (2.35)$$

El factor Q es también utilizado como una figura de mérito que esta directamente relacionado al BER (Figura 2.58). Por ejemplo, el BER puede ser mejorado tanto al incrementar la diferencia entre los niveles altos y bajos del numerador del factor Q, o decrementar el término del ruido en el denominador del factor Q.

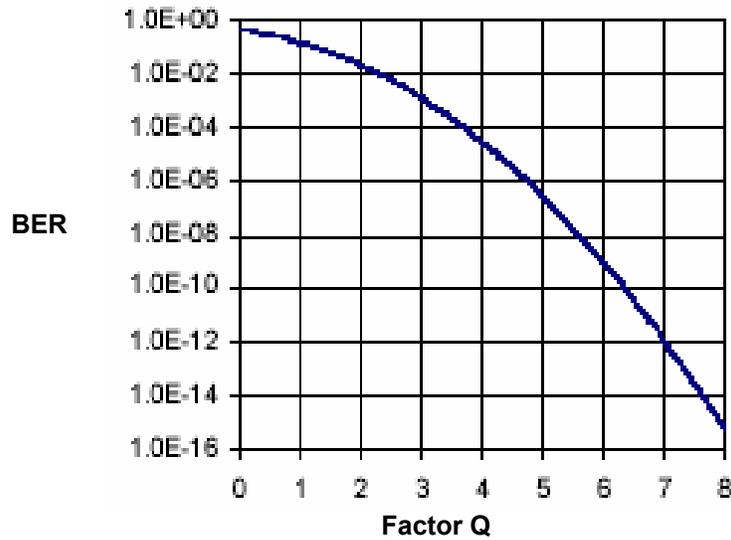


Figura 2.58 Bit Error Rate vs Factor Q.

Para el cálculo de Q en el sistema, se debe considerar el impacto de todos los componentes presentes en el sistema tales como el transmisor, receptor, EDFAs, fibra de transmisión, compensadores de dispersión de fibra, multiplexores y demultiplexores ópticos. La penalidad introducida por cada componente varía significativamente con el diseño del sistema. Si embargo, en muchos sistemas la mayor limitación proviene del ruido generado por los amplificadores ópticos y por los efectos no lineales en la fibra de transmisión.

El factor Q es utilizado para calcular P_{rec} , que es la potencia de la señal óptica requerida en presencia de ruido en el fotoreceptor. P_{rec} es también llamada sensibilidad del receptor. En el sistema óptico siempre se generará ruido térmico, ruido de disparo (shot noise), ruido batiente espontáneo - espontáneo y ruido batiente señal – espontáneo, donde los dos últimos son adicionados por la presencia de un amplificador óptico. Todos estos componentes de ruido, excepto el ruido térmico son señales dependientes, donde la presencia de multiplexores, demultiplexores y conmutadores ópticos antes de el receptor, hacen que estas componentes de ruido de señal dependientes sean despreciables. La siguiente figura muestra los niveles de ruido en el receptor vs la potencia óptica de entrada, donde se puede observar que para niveles de señal por encima de los -11 dBm, el

ruido de señal dependiente es dominante. En el caso que la señal de entrada en el receptor sea menor de -11 dBm, el ruido térmico será el limitante en el receptor (Figura 2.59).

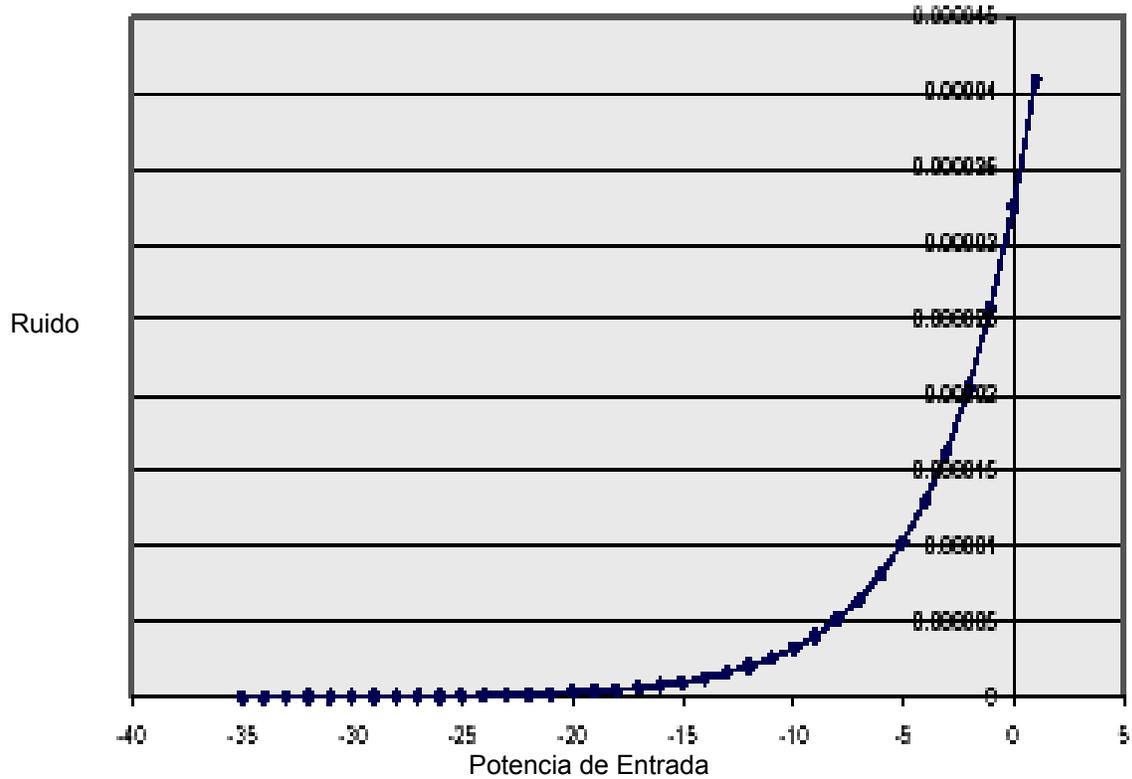


Figura 2.59 Ruido vs Potencia de entrada (dBm).

La mínima potencia recibida P_{rec} por un receptor limitado térmicamente es dada por la siguiente ecuación:

$$P_{REC} = \frac{Q\sigma_T}{R} \quad (2.36)$$

Donde:

- R es la responsividad del fotodiodo, la cual depende del tipo de fotodiodo utilizado y de los materiales con los cuales han sido elaborados. Típicamente

para un fotodiodo PIN de InGaAs la $R=0.85$ A/W, y para un fotodiodo APD de InGaAs la $R=8$ A/W.

- σ_T es el ruido térmico y puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{4K_B T}{R_L} \Delta f} \quad (2.37)$$

Donde:

- K_B es la constante de Boltzman = $1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K
- T es la temperatura en grados Kelvin = 298 °K
- R_L es la resistencia de carga y típicamente es de 50 OHM.
- Δf es el ancho de banda eléctrico del receptor.

- Para un formato de transmisión de la data NRZ:

$$\Delta f = \frac{BitRate}{2} \quad (2.38)$$

- Para un formato de transmisión de la data RZ:

$$\Delta f = BitRate \quad (2.39)$$

Formatos como el RZ doblan el ancho de banda del ruido en receptor, generando una penalidad en la sensibilidad óptica de 4.5 dB aproximadamente, por lo cual, no es muy preferido.

2.7.1.- Aplicaciones de los EDFAs.

Desde el punto de vista del balance de potencias, hay que tener en cuenta que los amplificadores ópticos compensan las pérdidas de canal en un valor igual a su ganancia, salvo que se saturen, esto es, que trabajen a ganancias inferiores a la

nominal. En principio cualquier pérdida puede ser compensada con amplificadores, pero aumenta el ruido que introducen estos a través del ASE.

Desde el punto de vista del balance de los tiempos, los EDFAs no van a afectar a los cálculos del mismo salvo en que al eliminar los regeneradores, los tramos de fibra sin compensar dispersión son mucho más largos y en la tercera ventana.

De acuerdo a la aplicación para la que estén fabricados, los EDFAs varían sus principales características adecuándose al enlace para el que son diseñados. Por su situación dentro de un enlace los amplificadores pueden ser divididos en:

- Preamplificadores
- Amplificadores de potencia (booster).
- Amplificadores de línea (ILA).

- **Preamplificadores**

El objetivo de los preamplificadores es el mejorar la sensibilidad en el receptor a base de amplificar justo antes que se reciba la señal, normalmente en un fotodiodo PIN. En la siguiente figura se muestra el esquema de preamplificación.

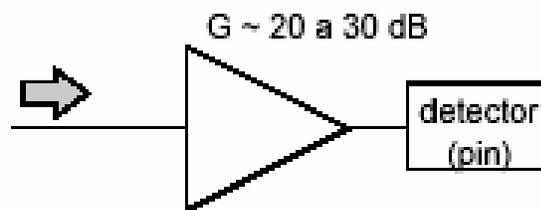


Figura 2.60 Esquema de preamplificación óptica.

Se puede calcular la sensibilidad en función del factor Q para un preamplificador. La potencia a la salida del preamplificador viene dada por:

$$P_{AMP} = GP_S + P_{SP} \quad (2.40)$$

Donde:

- P_S es la potencia que llega al amplificador y P_{SP} es la potencia espontanea generada.

La corriente generada en el detector se puede escribir como:

$$I = I_{AMP} + \Delta I = RP_{AMP} + \Delta I \quad (2.41)$$

$$\sigma^2 = \langle \Delta I^2 \rangle \quad (2.42)$$

- R es la responsividad del fotodiodo.

Para un enlace digital se tiene que:

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (2.43)$$

Donde al asumir que:

$$I_1 - I_0 \approx I_1 \Rightarrow I_1 = RGP_S = RG(\overline{2P_{REC}}) \quad (2.44)$$

$$\sigma_0 = \sigma_{SP-SP} \quad (2.45)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_{SIG-SP}^2 + \sigma_{SP-SP}^2} \quad (2.46)$$

Resolviendo para P_{REC} :

$$\overline{P_{REC}} = h\nu(NF)\Delta f \left(Q^2 + Q \left(\frac{\Delta v_{OPT}}{\Delta f} \right)^{1/2} \right) \quad (2.47)$$

- h es la constante de Planck.
 - ν es la frecuencia de la portadora óptica o canal.
 - $\Delta\nu_{OPT}$ es el ancho de banda óptico, generalmente definido por el filtro óptico colocado posterior al amplificador óptico. También es el utilizado para medir el OSNR.
 - NF es la figura de ruido del amplificador óptico.
 - Δf es el ancho de banda eléctrico del receptor.
- **Amplificadores de Potencia (Booster).**

El objetivo de los amplificadores de potencia es el intentar compensar las pérdidas por atenuación a base de aumentar la potencia de emisión. Para esta aplicación las componentes de ruido debidas a la emisión espontanea no son importantes, porque se atenúan en la propagación y el comportamiento de un enlace de esta característica se parece más a un enlace convencional sin amplificadores. En la siguiente figura se muestra un esquema de amplificación con booster.

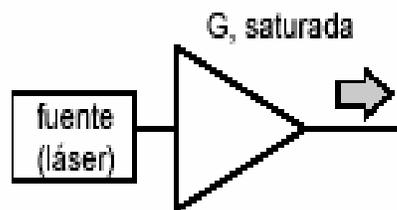


Figura 2.61 Esquema de Amplificación Óptica con un Booster

El booster trabaja fuertemente saturado para obtener la máxima potencia de salida (típicamente +17 a +20 dBm), lo cual lo hace robusto frente a las variaciones en la potencia de salida del láser. Llevan una configuración preparada para conseguir la mayor potencia de salida posible: una longitud bastante grande de fibra dopada, esquemas de bombeo especiales, generalmente con más de una fuente de bombeo, pudiendo dar lugar a efectos no lineales.

El ruido debido al ASE no tiene tanta importancia como en el caso de los preamplificadores, ya que la longitud del trayecto va a atenuar la potencia del ruido ASE. Si llamamos L a las pérdidas del enlace, se tiene:

$$\sigma^2 = \langle \Delta I^2 \rangle = \sigma_T^2 + \sigma_S^2 + \sigma_{SIG-SP}^2 + \sigma_{SP-SP}^2 \quad (2.48)$$

Donde $(\sigma_{SIG-SP}^2 + \sigma_{SP-SP}^2)$ disminuyen con L^2 .

- **Amplificadores en Línea (ILA).**

La aplicación para un enlace de larga distancia más importante es la de los amplificadores en línea. Los amplificadores se suelen colocar uno detrás de otro en longitudes o spans cuya distancia es precisamente uno de los parámetros de diseño. En la siguiente figura se muestra un esquema de colocación de los ILA.

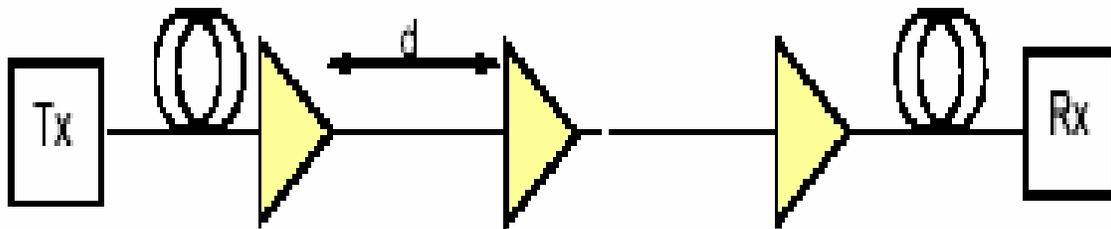


Figura 2.62 Esquema de amplificación óptica con un ILA.

Generalmente funcionan de forma que la ganancia prácticamente compense la atenuación de la línea entre dos amplificadores. Supongamos que N es el número de amplificadores ópticos, que L es la atenuación de cada span ($L = e^{-\alpha d}$) y G es la ganancia de cada amplificador. Considerando que $(L \cdot G = 1)$, a la salida del amplificador se tiene el siguiente grupo de ecuaciones:

$$\begin{aligned}
S_{SP} &= N2(G-1)n_{SP}h\nu \\
P_{SP} &= S_{SP}\Delta\nu_{OPT} \\
P_{AMP} &= GP_S + P_{SP} \\
NF &= 2n_{SP}
\end{aligned}
\tag{2.49}$$

Donde:

- S_{SP} es la densidad espectral ASE producida por cada amplificador.
- n_{SP} es la constante de emisión espontanea.

La potencia del ruido ASE va creciendo de amplificador en amplificador, mientras que la potencia total de salida permanece constante. Esto modifica las características de diseño de los enlaces, ya que en un sistema sin amplificadores en línea las características del enlace venían impuestas por la sensibilidad del receptor, ahora esas características vienen dadas por el ruido que imponen los amplificadores en serie. Por lo tanto, en esquemas con amplificadores en línea se trabaja con la SNR óptica (OSNR), definida a la salida del amplificador N como:

$$OSNR = \frac{GP_S}{N(G-1)(NF)h\nu\Delta\nu_{OPT}}
\tag{2.50}$$

$$GP_S = P_{OUT}
\tag{2.51}$$

- P_{OUT} es la potencia promedio por canal a la salida del amplificador óptico.

Muchos diseñadores caracterizan el desempeño del sistema en términos de la OSNR, ya que está puede ser medido fácilmente. En cuanto a la relación del factor Q amplificado (Q_{AMP}) y el OSNR viene dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{AMP} = \sqrt{OSNR \frac{\Delta\nu_{OPT}}{\Delta f}}
\tag{2.52}$$

donde al sustituir la ecuación del OSNR se tiene:

$$Q_{AMP} = \sqrt{\frac{P_{OUT}}{Nh\nu(G-1)(NF)\Delta f}} \quad (2.53)$$

El valor de Q en un sistema real será considerablemente peor, pero analizando la dependencia de Q_{AMP} con varios parámetros del sistema se puede mejorar el diseño del sistema. Por ejemplo, un incremento en el bit rate de 2.5 Gbps a 10 Gbps incrementa B_e por un factor de 4, y como consecuencia Q_{AMP} se reduce por 3 dB. Un cambio en la ganancia de los amplificadores ópticos de 22 dB a 33 dB decrementa Q_{AMP} por 5.5 dB. Por otro lado, el hecho de doblar el número de amplificadores en el trayecto va a decrementar a Q_{AMP} por 1.5 dB, pero al emplear amplificadores ópticos de menor ganancia se logra mejorar la eficiencia del factor Q, la cual es la estrategia utilizada en los sistemas submarinos para poder llegar a distancias transoceánicas.

En la figura 2.63, se muestra la gráfica de la sensibilidad del receptor como una función de la tasa de transmisión (bit rate) para un típico fotodiodo PIN, APD y un receptor preamplificado ópticamente.

Otro aspecto importante en el diseño del desempeño de un sistema de transmisión óptico, es el empleo de mecanismos de corrección de la data transmitida una vez llegada a los transponder u OTU (Optical Transponder Unit). Los errores que pueden ocurrir durante la transmisión pueden ser corregidos a través de técnicas como la FEC (Forward Error Correction). Esta técnica consiste en enviar una cierta cantidad de información redundante en los datos transmitidos y luego a través de algoritmos sofisticados se pueden corregir algunos de los errores incurridos. El número de errores que pueden ser corregidos depende de la cantidad de información redundante transmitida y los algoritmos utilizados.

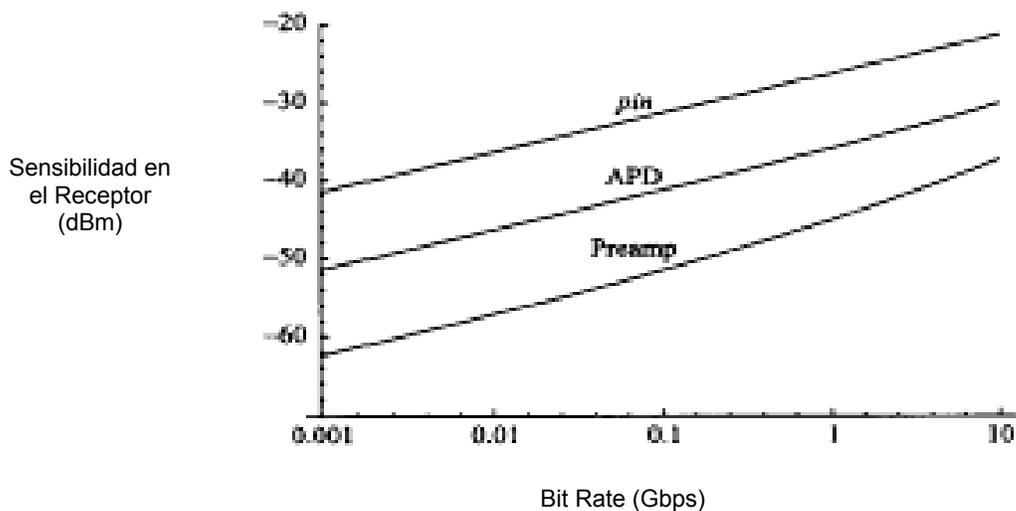


Figura 2.63 Sensibilidad del receptor como una función de bit rate para un típico fotodiodo PIN, APD y un receptor ópticamente preamplificado para un BER de 10^{-12} .

La técnica de FEC en banda hace uso de los bits disponibles de los encabezados SONET para la información redundante y proveer un modesto mejoramiento en el diseño de ≈ 1 dBQ. En la técnica de fuera de banda, la tasa de transmisión es incrementada con la finalidad de introducir bits redundantes. La técnica más común fuera de banda utiliza el código Reed-Solomon, el cual proporciona al factor Q una mejora de ≈ 3 dB para un encabezado de $\approx 7\%$.

El beneficio proporcionado por una FEC puede ser utilizado para compensar la degradación del OSNR, que podría ocurrir en el sistema cuando:

- Se incrementa el número de tramos.
- Se incrementa la longitud del tramo.
- Se incrementa la tasa de transmisión.
- Se incrementa el número de canales.
- Se decrementa la potencia de canal para reducir las no linealidades.

2.8.- Aplicaciones de DWDM en las Redes de Telecomunicaciones.

Las primeras aplicaciones de WDM aparecieron a principios de la década de los 1980s. Las primeras redes usaron fibra multimodo y frecuentemente dos longitudes de ondas, una en 800 nm y otra en 1300 nm, y algunas veces hasta tres o cuatro longitudes de ondas. Muy pronto llegó a ser obvio que el uso de la fibra monomodo era necesario para llegar a obtener anchos de bandas que soportarán altas velocidades de transmisión. En los 1980s, la gran ventaja de la fibra monomodo permitió que en las redes locales, la conmutación, el encaminamiento y el procesamiento de señales pudiera ser realizado en el dominio óptico. Varios grupos de investigación estuvieron dedicados al incremento del número de longitudes de ondas multiplexadas y posteriormente surge la ocasión para utilizar receptores y fuentes de longitudes de ondas sintonizables. Un mejor entendimiento surge del hecho que las redes ópticas podrían permanecer totalmente pasivas y que además, la conmutación y el encaminamiento podrían utilizar longitudes de ondas.

2.8.1.- Las Redes DWDM de Hoy y del Futuro.

En los tiempos actuales las redes de telecomunicaciones son relativamente heterogéneas, esto es una consecuencia de la evolución del hardware de la transmisión, así como también, de los métodos de operación, los cuales fueron progresivamente modificados para buscar solventar los diferentes requerimientos del servicio.

Nuevos servicios han sido introducidos por los nuevos y tradicionales operadores, entre ellos se tiene el tremendo crecimiento de la Internet, el vídeo conferencia, el entretenimiento, el vídeo interactivo, el teletrabajo, los servicios de información bancaria, la transferencia de datos entre computadoras, la teledistribución, los cuales a su vez requieren de grandes anchos de bandas y además las nuevas redes requieren de una flexibilidad real y una clase de inteligencia distribuida.

Cada aplicación en la red DWDM tendrá asociada una única longitud de onda, por lo cual, se necesitará un tipo de fibra óptica diseñada para soportar un gran número de longitudes de ondas (canales) transmitidas a muy alta potencia. Esta fibra no deberá variar su comportamiento a causa de fenómenos como el PMD (Dispersión por cambio en el modo de polarización) u otros efectos no lineales.

El futuro de las redes estará consecuentemente caracterizado por la centralización y escalonamiento de servicios. La centralización de datos redundará en la construcción de redes acomodadas para el tráfico de datos, dado que éste continuará creciendo en un gran porcentaje. El escalonamiento trae consigo la flexibilidad de un sistema, donde el flujo total de información puede dividirse en paquetes relativamente pequeños a la hora de descomponer la señal hasta el más bajo nivel. Cuanto más preciso es el escalonamiento, mayor es la potencia, rapidez y flexibilidad.

Los servicios ofrecidos estarán caracterizados por voz y líneas privadas DS1 y DS3; líneas privadas OC-3 y OC-12; líneas interurbanas OC-12, OC-48 y ATM; líneas interurbanas de Internet, vídeo y Gigabit LANs OC-3 a OC-48, cada uno transmitido por su propia longitud de onda; y OC-192 y OC-768 reemplazarán eventualmente a OC-48.

En cualquier caso, la red DWDM no dará respuesta a la continua e insaciable demanda de ancho de banda. En teoría, el ancho de banda total disponible en una fibra monomodo es de 50 THz, mientras que se hace imposible calcular el ancho de banda necesario para cubrir la demanda y servicios que la propia ley de Moore sugiere (la disponibilidad de gran ancho de banda genera nuevas aplicaciones que emplean más ancho de banda, generando de nuevo una necesidad de mayor ancho de banda).

DWDM esta siendo aceptada por la mayoría de los operadores, y seguirá siendo aceptada como la tecnología ideal de transporte en todas sus combinaciones, tanto en tierra como en grandes tramos troncales submarinos.

Una vez que la tecnología DWDM sobrepase el marco de aplicación de las conexiones punto a punto y se desdoble en topologías en bus y anillo, los OADMs

y OXCs serán usados masivamente dentro de la red. Este hecho conducirá a los siguientes retos en lo que la tecnología DWDM tendrá que hacer frente:

- Mayor control sobre la tolerancia de los láseres y filtros ópticos.
- Supresión de elementos no lineales.
- Presupuestos de potencia óptica mucho más complejos.
- Menor acumulación de ruido óptico.
- Menor coste por bit.
- Menor número de capas por escalonamiento.
- Mejor protección y restauración de la capa óptica.
- Flexibilidad y rapidez de reconfiguración óptica.
- Optimización del uso del ancho de banda disponible.

Para poder plantear soluciones y respuestas a estos futuros requerimientos, se debe tener disponible opciones como:

- Nuevos tipos de fibra óptica.
- OC-192.
- Conmutación, intercambio y conversión de longitud de onda.
- Compensación de dispersión a muy bajo coste.
- Regeneración totalmente óptica de señales.

Todos estos indicadores inducen a pensar que el mercado para fabricantes y usuarios de componentes y equipos DWDM será creciente, aún cuando la complejidad de la propia tecnología crezca del mismo modo y a la misma velocidad. Por ello, y calculando un incremento en la demanda del ancho de banda del 100% cada 6 meses, podremos esperar que las redes DWDM del 2010 requieran:

- 864 fibras por cable.
- 128 longitudes de ondas por fibra.
- 1.11 Pb/s (17.000.000.000 de líneas de voz) por línea de transporte.

- Reparto y localización de ancho de banda óptico en tiempo real.

Las redes DWDM del futuro estarán sujetas a procesos de optimización tremendamente exigentes, lo cual conducirá a un replanteamiento constante de términos como costo, espacio, potencia, consumo, repuestos, manejo de la red, por eso las redes del futuro deberán incorporar:

- Total funcionalidad con los canales de servicio (OSC).
- Control y procesamiento total de cabeceras SONET/SDH y conversión de señales sin multiplexación.
- Técnicas de modulación y formatos de datos mejorados.
- Control de dispersión y PMD.
- Estructuración fuera de banda.
- Corrección de errores FEC en la propia banda.
- Conmutación de protección automática.
- Monitorización precisa de errores.
- Interfaces tributarios mejorados para voz y datos.
- Transmisores ITU desde 1545 nm hasta 1560 nm, sintonizables, 100 GHz.
- Test remoto de la red.
- Menor tamaño de los equipos.
- Amplificadores de Raman.
- Solitones.
- Módulos OADM con gran número de canales.
- Conmutadores ópticos ultrarrápidos y de gran densidad de canales.
- Nuevas tecnologías de supervisión y control de la red.

2.8.1.1.- Topologías de Redes y Modos de Transferencia.

Los diferentes tipos de redes pueden ser ordenados de acuerdo a su tamaño, a su topología, o de acuerdo a su modo de transferencia. Sin embargo, los límites de

las diferentes categorías no siempre son bien definidos y en una red dada se pueden sobreponer diferentes topologías y formatos.

- De acuerdo al tamaño de la red los siguientes términos son frecuentemente utilizados:
 - Red de área local (LAN).
 - Red de área metropolitana (MAN).
 - Red de acceso.
 - Red de área amplia (WAN).
 - Red de transporte.
- De acuerdo a su topología, las redes son llamadas:
 - Redes selectas y de transmisión estática.
 - Redes encaminadas por longitudes de ondas.
 - Redes de ondas de luz lineal.
 - Redes encaminadas lógicamente.
- Los principales modos de transferencia son:
 - IP: las tarjetas de control IP leen la dirección destino del paquete en el encabezado, y luego lo transmiten en la siguiente ranura de tiempo hacia la dirección dada, bajo el concepto de buscar el camino más apropiado. Los paquetes pueden tener longitudes variables.
 - Jerarquía Digital Síncrona (SDH): los datos son colocados en tramas de 810 bytes con un encabezado de 18 bytes de información de la red. Las velocidades de transmisión están en jerarquías como:
 - STM-1 (155.84 Mbps).
 - STM-4 (622.08 Mbps).
 - STM-16 (2488.32 Mbps).
 - STM-64 (9953.28 Mbps).

- SONET: Al igual que SDH, fue desarrollado inicialmente para la telefonía digital sobre redes de transmisión óptica con un sistema de gestión centralizado. SONET utiliza el estándar de la multiplexación por división de tiempo con portadoras ópticas (OC), donde la jerarquía de las velocidades de transmisión son las siguientes:
 - OC-1 (51.48 Mbps).
 - OC-3 (155.52 Mbps).
 - OC-9 (466.56 Mbps).
 - OC-12 (622.08 Mbps).
 - OC-18 (933.12 Mbps).
 - OC-24 (1244.16 Mbps).
 - OC-36 (1866.24 Mbps).
 - OC-48 (2488.32 Mbps).
 - OC-192 (9953.84 Mbps).

La calidad del servicio es mucho mejor que IP, pero el uso de los recursos es menos efectivo.

- Modo de Transferencia Asíncrono (ATM): ATM fue desarrollado para ISDN banda ancha (B-ISDN), y utiliza paquetes de una longitud fija de 53 Bytes.
- Ethernet: Este formato fue desarrollado para redes de área local, la cual incluye las siguientes velocidades:
 - Basic Ethernet a 10 Mbps.
 - Fast Ethernet a 100 Mbps.
 - Gigabit Ethernet a 1 Gbps.
- SDL (Simple Data Link).
- Multiprotocolo de Conmutación de Etiquetas (MPLS): MPLS puede adaptar cualquier tipo de datos a un formato de paquete, y fue desarrollado inicialmente para las redes IP. Este no necesita de un sistema de gestión

centralizado e implementa electrónicamente rutas en la red a través de conmutación de etiquetas (conexiones virtuales). El Multiprotocolo de Conmutación Lambda ($MP\lambda S$) es la actual extensión de MPLS para manejar conexiones en las redes ópticas.

- Frame Relay (FR): Es un protocolo orientado a datos y basado en paquetes, típicamente utilizado para la interconexión de redes de área local.

2.8.1.2.- WDM para la Conmutación y el Encaminamiento Óptico.

Tradicionalmente las arquitecturas de red están esquemáticamente definidas en diferentes capas, como se indica en la siguiente figura.

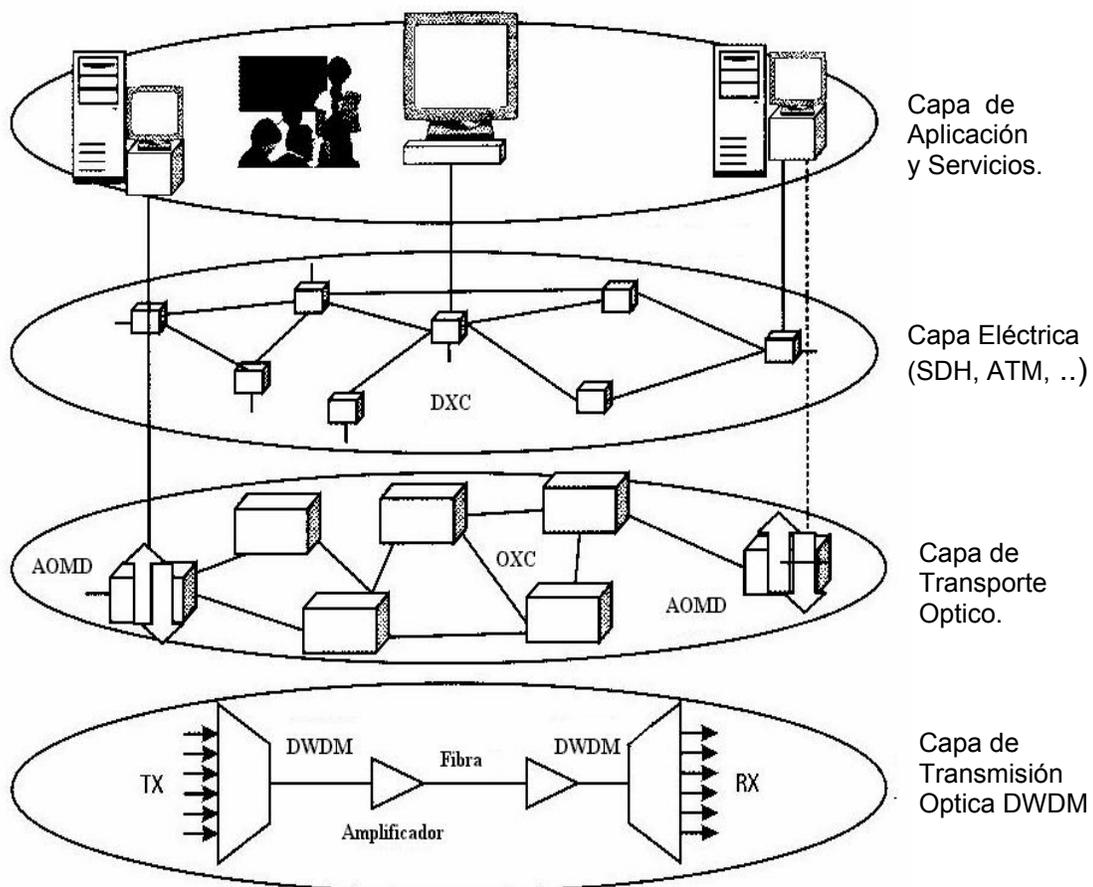


Figura 2.64 Esquemático de la infraestructura de una red DWDM.

El nivel superior esta conformado por la capa de servicios y aplicaciones, en el nivel intermedio esta la capa eléctrica de multiplexación y conmutación, tal como lo es la capa ATM sobre la capa SDH/SONET, y en el primer nivel se tiene la red de transporte con su capa de transmisión óptica DWDM.

En un nodo de red, la función del conmutador es conectar un canal de entrada a un canal de salida específico, de modo que la señal de salida sea muy parecida a la señal de entrada. Los dispositivos que permiten esta función tradicionalmente utilizan una conmutación espacio y tiempo en las capas eléctricas. Hoy día, muchas de las operaciones de encaminamiento y conmutación son realizadas en las capas electrónicas. En la capa electrónica ATM los conmutadores/cross-connects ATM operan sobre las celdas ATM. En la capa electrónica SDH/SONET el cross-connect digital (DXC) opera sobre contenedores virtuales síncronos (VC).

En principio, en las redes fotónicas WDM, la conmutación puede ser del tipo espacio, tiempo y longitud de onda, dando así una nueva dimensión y permitiendo una mejor capacidad y flexibilidad, donde consecuentemente la capacidad de agregados puede ser incrementada y la probabilidad de bloqueo puede ser reducida.

La conmutación óptica en un primer paso puede ser a través de OADMs en redes en forma de anillo, y progresivamente se pueden interconectar redes en forma de malla o de anillos con routers y cross-connects ópticos (OXC), los cuales van a permitir una protección óptica, restauración de rutas, y/o reconfiguración de la red en la capa de transporte fotónica. En la mayoría de los casos, los actuales backbones IP, van a estar soportados por sistemas SDH/SONET, y estos a su vez sobre enlaces punto a punto WDM. Los OADMs y los OXCs con longitudes de ondas fijas ya están disponibles, y se están comenzando a implementar en los nodos de la red, los cuales evitan que se realice una conversión innecesaria O-E-O, y además desvían en la capa óptica todo el tráfico que no le concierne directamente al nodo.

2.8.1.3.- Hacia la Evolución de IP sobre DWDM.

En el comienzo del siglo XXI, el protocolo SDH/SONET aún tiene dominio sobre la transmisión en trayectos de mediana y larga distancia. En la actualidad, sé esta desplegando en una forma agresiva nuevas redes, y otros protocolos estándar están también siendo empleados de acuerdo a las necesidades específicas, y entre ellos se tiene el Protocolo de Internet (IP), que cada vez es una tecnología más y más dominante.

WDM y DWDM, que es por supuesto compatible con TDM, son usados en redes de todo tamaño, pero ahora predominan en las redes WAN. WDM/DWDM, son compatibles con cualquier modo de transferencia y con lo que no están completamente estandarizados. Con una capacidad de hasta 10 Gbps por canal, se puede prever una futura jerarquía estándar correspondiente a 320 Gbps para 32 longitudes de ondas, y a 1.6 Tbps con 160 longitudes de ondas. La opción de IP sobre DWDM se ve como una de las opciones más interesantes, y es implementada típicamente con una simple e intermedia capa Ethernet o con la superposición de diferentes capas utilizando SONET/SDH, ATM, SDL, MPLS, y/o otras opciones.

Las recientes soluciones están enfocadas a implementar directamente IP sobre DWDM, lo cual generaría mejoras en el escalonamiento, eficiencia y costo. Actualmente en la industria ya existen productos que implementan IP sobre DWDM, como es el caso de Monterey Networks (adquirida por Cisco) con su Monterey 20000 Series Wavelength Router, el cual ofrece a los proveedores de servicio un manejo del tráfico IP sin tener que introducir en el intermedio conmutadores ATM o multiplexores SONET/SDH y cross-connects. Los defensores de IP sobre DWDM indican que la confiabilidad que ofrece SONET/SDH es debido a su arquitectura redundante, lo cual a su vez consume gran parte de los recursos de la red.

Con el desarrollo de los amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFAs), muchos sistemas que utilizan IP/SONET/DWDM están eliminando la capa intermedia de SONET/SDH. La empresa de servicio de carrier como GTS, ya

instaló la primera plataforma de alta capacidad en Europa y utiliza IP sobre DWDM. Por otro lado, las otras grandes empresas de carrier como AT&T, Sprint, Enron, Frontier, Canarie, ya han comenzado a implementar IP sobre DWDM.

2.8.1.4.- Conmutación de Paquetes Ópticos.

En el futuro, DWDM podrá evolucionar hacia una verdadera y rápida conmutación óptica, tal como es, la conmutación óptica de paquetes. Sin embargo, en la actualidad, la falta de memorias ópticas adecuadas, entre otras, es aún uno de los problemas que retardan la introducción de una completa conmutación óptica.

Una red de paquetes ópticos consiste de conmutadores de paquetes ópticos interconectados con enlaces WDM. Los datos del usuario son transmitidos en el payload del paquete, el cual es conmutado por completo en el dominio óptico, donde además no experimenta una conversión óptica a eléctrica o eléctrica a óptica entre la fuente y el destino. El cambio de una conmutación de circuitos hacia una conmutación de paquetes ha sido la tendencia por muchos años de las redes de comunicación de datos y de telecomunicaciones. El hecho de utilizar paquetes permite emplear más eficientemente el ancho de banda, pero la mayor ventaja de una conmutación óptica de paquetes es la transparencia de la tasa de bits, que da la posibilidad de soportar con un menor impacto en los nodos de conmutación los sucesivos incrementos de las tasas de bits en los enlaces de transmisión.

La conmutación de paquetes no solo incluye una conmutación puramente de paquetes ópticos, sino también de esquemas, como es la conmutación de paquetes híbridos (con buffers electrónicos) o conmutadores de ráfagas (posiblemente sin buffers). La conmutación de ráfagas ópticas (OBS), es una técnica para transmitir ráfagas de tráfico a través de una red de transporte óptica, la cual es posible al definir los extremos de la conexión y al reservar los recursos para la duración de la ráfaga. La OBS va a facilitar la integración de IP sobre WDM bajo el protocolo MPLS.

Los routers de longitudes de ondas de alta capacidad, los láseres de rápida sintonización y las matrices ópticas de conmutación espacial, son los dispositivos que permiten la realización de conmutadores de paquetes ópticos. Actualmente ya están disponibles comercialmente routers de más 48 X 48 puertos, láseres sintonizables sobre los 60 nm con un tiempo de cambio menor a los 5 ns, así como conmutadores basados en SOAs. Todo esto significa que las redes basadas en la conmutación óptica de paquetes, en particular utilizando MP λ S, pueden ser diseñadas para la próxima generación del Internet óptico.

2.8.2.- Transmisión Sobre Largas Distancias.

En esta sección se indican comentarios a sistemas que utilizan una transmisión DWDM en enlaces submarinos de distancias ultra largas y terrestres de distancias moderadas. Algunas de estas características son comparadas en la tabla 2.7. Los desarrollos en esta área son tan rápidos que las soluciones prácticas a los enlaces instalados aún no están claras.

La capacidad final del sistema dependerá de la eficiencia espectral, la cual se define como la capacidad de los agregados entre el ancho de banda óptico del sistema (en bps/Hz). En los sistemas de distancias ultra largas la eficiencia espectral es típicamente de 0.2 a 0.4 bps/Hz. La eficiencia espectral para las distancias cortas puede estar alrededor de 1 bps/Hz (por ejemplo 0.8 bps/Hz para una distancia de 160 Km).

En la tabla 2.7, se ilustra como la adición de los amplificadores de Raman a los amplificadores EDFAs permiten incrementar la longitud del trayecto. En cuanto al espacio entre canales, este puede ser denso (por debajo de los 25 GHz) si se utiliza una transmisión soliton. Tradicionalmente el manejo de la dispersión con soliton permite transmisiones de 10 a 80 Gbps sin regeneración, donde por ejemplo, se puede tener una transmisión de 16.000 Km a 10 Gbps y 1.000 Km a 40 Gbps con una fibra estándar.

En las transmisiones DWDM para controlar la no-linealidad se utiliza el formato RZ (en particular cuando la dispersión es controlada por soliton)

permitiendo capacidades de multiterabits para distancias superiores a los 1.000 Km. Las soluciones soliton o cuasi - soliton (NRZ) más amplificadores EDFA/Raman han sido implementado en todas las transmisiones óptica de ultra larga distancia. Sin embargo, otras soluciones con otros formatos, con o sin amplificación de Raman, podrían ser algunas veces preferidas. El uso de un formato de modulación que ensancha el espectro como es el RZ es efectivo. Por ejemplo, la tecnología WDM de espectro completo (FSWDM) permite a las señales una potencia promedio mayor por canal sin incremento del FWM y de la modulación cruzada, a través de un ensanchado del espectro en cada canal (típicamente de 30 a 40 GHz de ensanchado y con un espacio entre canal de 100 GHz), lo cual reduce la densidad espectral. Los efectos acumulados de la automodulación de fase (SPM) son compensados con un apropiado control de frecuencia y modulaciones en el dominio del tiempo. Estos sistemas son capaces de propagar señales en distancias por encima de los 6.800 Km en fibra monomodo sin amplificadores de Raman. Algunas veces, puede ser interesante reducir el espacio entre canal a través de un formato de reducción del ancho espectral, con el fin de aumentar la capacidad de transmisión. Para esto se tiene el formato de retorno a cero con portadora suprimida (CS-RZ), el cual tiene una alta tolerancia a las altas no-linealidades cuando el espectro es delgado. En la modulación CS-RZ, los pulsos ópticos tienen una fase alternada de π o 0, lo cual reduce la interacción entre los pulsos.

Tabla 2.7

Características Típicas en una Transmisión DWDM en Distancias Ultra Largas

Número de Canales	Capacidad de Agregado Tb/s <i>Bit rate Gb/s</i>	Distancia Total Km <i>Span Km</i>	Tipo de Fibra	Banda de la Longitud de Onda <i>Amplificadores</i>	Espaciado de Canal GHz	Formato de Modulación <i>Corrección</i>
211	2.1 <i>10</i>	7.221 <i>80</i>	Fibras de dispersión negativa y positiva.	C+L <i>EDFA + Raman</i>	37.5	RZ <i>FEC</i>
180	1.8 <i>10</i>	7.000	-----	C	Cerca de 33	Chirped RZ <i>FEC</i>
56	1.12 <i>20</i>	6.200 <i>49</i>	LEAF/ RDF	C	De 85 a 170	Chirped RZ <i>FEC</i>

Tabla 2.7 (continuación)

Número de Canales	Capacidad de Agregado Tb/s	Distancia Total Km	Tipo de Fibra	Banda de la Longitud de Onda	Espaciado de Canal GHz	Formato de Modulación
	<i>Bit rate Gb/s</i>	<i>Span Km</i>		<i>Amplificadores</i>		<i>Corrección</i>
100	1 <i>10</i>	4.000 <i>48</i>	NZDSF+LEAF+PSCF+RDF	C+L <i>EDFA</i>	44	Amplitud NRZ + Intensidad RZ <i>FEC</i>
50	1 <i>20</i>	4.000 <i>41.5</i>	SMF+ RDF	<i>EDFA</i>	50	RZ,CS-RZ,SSB-RZ
80	0.8 <i>10</i>	3.200 <i>100</i>	Baja dispersión TrueWave + DCF	C <i>EDFA +Raman</i>	50	NRZ <i>FEC</i>
100	2 <i>20</i>	2700 <i>39.5</i>	SMF basada en PDF+SCF	C	35	RZ
32	1.28 <i>40</i>	1.000 <i>160</i>	NDSF DCM	<i>2 etapas EDFA + Raman</i>	100	CS-RZ
128	5.1 <i>40</i>	300 <i>100</i>	Teraligh	<i>EDFA Raman</i>	50 y 75	NRZ Filtrado VSB
160	6.4 <i>40</i>	186 <i>46.6</i>	SMF, RDF, DCF	C + L <i>EDFA</i>	50	NRZ Polarización entrelazada
100	1 <i>10</i>	4.000 <i>100</i>	Fibras con dispersión controlada	C + L <i>EDFA</i>	50	Soliton <i>FEC</i>
40	0.4 <i>10</i>	4.000 <i>80</i>	Varios tipos	C, (C+L) <i>EDFA</i>	100	RZ, FSWDM <i>FEC</i>
320	3.2 <i>10</i>	800	Fibras con dispersión controlada	C + L	25	Soliton

Capítulo III

Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana de Fibra Optica de Telcel BellSouth

3.0.- Introducción.

La mayoría de los desarrollos tecnológicos se han centrado en implementar redes ópticas que replican las capacidades de las redes tradicionales basadas en SONET/SDH o ATM/SONET/SDH, donde a pesar de obtenerse logros importantes con estos desarrollos no se ha alterado el concepto fundamental de la arquitectura de las redes orientadas a un servicio por conmutación de circuitos.

El proyecto esta enfocado a demostrar la viabilidad de crear una red de transmisión de banda ancha basada en la tecnología DWDM en los tramos interurbanos de fibra óptica entre MTSO Canaima (Caracas), MTSO Valencia (Valencia), MTSO Barquisimeto (Barquisimeto) y MTSO Maracaibo (Maracaibo). En la actualidad el tramo de fibra óptica entre MTSO Canaima y MTSO Valencia ya está implementado, en cambio, el tramo entre MTSO Valencia, MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo esta en la etapa de planificación, de modo que los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto DWDM puedan indicar si se requiere alguna modificación de la red en los tramos ya existentes o en

planificación. Por otro lado, este proyecto está diseñado para proveer toda la información necesaria para el diseño de un enlace de fibra óptica con tecnología DWDM (análisis de ancho de banda y presupuesto de potencia), ya que además de definir todos los conceptos básicos y necesarios para una transmisión monocanal, se han considerado todos los efectos que se generan a partir de una transmisión multicanal (DWDM), como son los efectos no lineales, así como también, la presencia de los amplificadores ópticos, quienes contribuyen con la inyección de altos niveles de potencia en la fibra y a la vez con la generación de ruido de emisión espontánea.

También es importante destacar, que este diseño es el primer paso en el proceso y que quizás no sea el diseño final, ya que a la hora de implementarse habrá que recurrir a herramientas sofisticadas de simulación que permitan obtener resultados más exactos, permitiendo así la implementación más idónea de un sistema DWDM.

3.1.- Características de la Red Interurbana de Fibra Óptica.

Parte de la implementación del sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica se ha enfocado en las matrices de tráfico existentes entre las diferentes estaciones (ver anexo A), permitiendo así definir como va hacer el encaminamiento de las longitudes de onda entre las diferentes estaciones, así como también, la capacidad y tipos de componentes ópticos que se requieren en cada estación de la red.

La red interurbana entre MTSO Canaima y MTSO Maracaibo está conformada por una longitud de 787 kilómetros, la cual es muy grande para implementar una señal multicanal o un agregado DWDM sin tener que regenerar los canales que la conforman, ya que se tiene que colocar a lo largo del enlace una gran cantidad de amplificadores ópticos, los cuales van a contribuir enormemente con el deterioro del OSNR (Relación Señal a Ruido Óptica) como consecuencia de la generación del ruido de emisión espontánea y su acumulación a lo largo de la cadena de amplificadores, por lo tanto, se requiere regenerar los

canales del agregado DWDM cada cierta distancia, con el fin de mantener un adecuado nivel del OSNR. Por todo lo antes indicado, el sistema DWDM se ha subdividido estratégicamente en tres principales tramos, los cuales son: MTSO Canaima - MTSO Valencia, MTSO Valencia - MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto - MTSO Maracaibo. Para que una o varias longitudes de onda se puedan implementar a lo largo de los tres principales tramos, se requiere colocar entre los tramos regeneradores del tipo 3R, y de esta manera garantizar un nivel óptimo del OSNR para cada uno de las longitudes de onda o canales que forman parte del agregado DWDM a implementar entre MTSO Canaima y MTSO Maracaibo.

3.1.1.- Red Interurbana del Tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia.

El Sistema DWDM a implementar en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia estaba inicialmente conformado por tres estaciones: MTSO Canaima, Venepal (Celda Venepal ubicada en Maracay) y MTSO Valencia. En la siguiente figura se especifican las características del tramo inicial entre MTSO Canaima y MTSO Valencia.

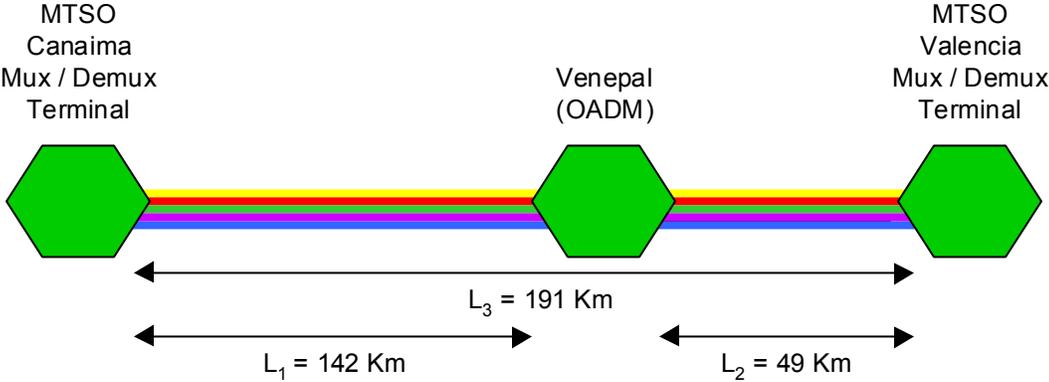


Figura 3.1 Sistema DWDM inicialmente a implementar en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Canaima y MTSO Valencia.

La implementación de un agregado DWDM entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal es un poco difícil en vista de que la distancia del tramo de fibra (142 Km) genera una gran atenuación a la señal, y donde además, hay que adicionar las pérdidas de inserción de los equipos y componentes ópticos (Mux/Demux, OADM, conectores, etc.). Por otro lado, la potencia de transmisión de un amplificador óptico para un agregado DWDM esta entre los 17 y 25 dBm, y el de cada canal esta alrededor de los 6 dBm, por lo que el nivel de potencia por canal que se obtiene en el extremo de la transmisión es muy bajo para poder garantizar una transmisión DWDM con una tasa de BER de 10^{-12} .

Para solucionar todos los problemas anteriores y además garantizar la funcionalidad del sistema DWDM con un amplio margen de seguridad, se requiere amplificar el agregado DWDM a través de un amplificador de línea (ILA), el cual idealmente debe estar ubicado en la mitad del tramo entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal, cuya distancia a su vez coincide con la ubicación de la estación Tiara (Celda Tiara, ubicada en Tiara). Por todo lo antes indicado, el ILA será ubicado en la estación Tiara, y como consecuencia, el tramo L_1 será subdividido en dos tramos L_{1-1} y L_{1-2} . A continuación se muestra el sistema DWDM a implementar finalmente en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia.

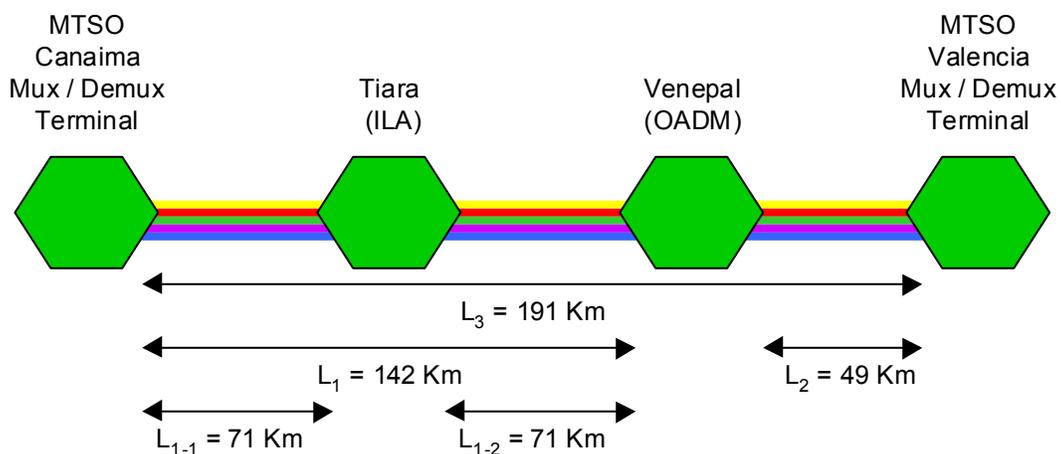


Figura 3.2 Sistema DWDM a implementar finalmente en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Canaima y MTSO Valencia.

Las estaciones de MTSO Valencia y MTSO Canaima van a disponer de multiplexores/demultiplexores DWDM del tipo terminal, y en la estación Venepal se implementa un OADM.

La estación intermedia Venepal es un punto importante de la red, ya que es donde converge parte del tráfico de la región con destino MTSO Valencia y también porque puede ser utilizada para la amplificación de los canales que se implementen entre MTSO Canaima y MTSO Valencia.

3.1.2.- Red Interurbana del Tramo MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto.

El sistema DWDM implementado entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto consta de las estaciones intermedias: Puerto Cabello (Celda Puerto Cabello) y San Felipe (Celda San Felipe). En la siguiente figura se puede apreciar algunas de las características del tramo entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto.

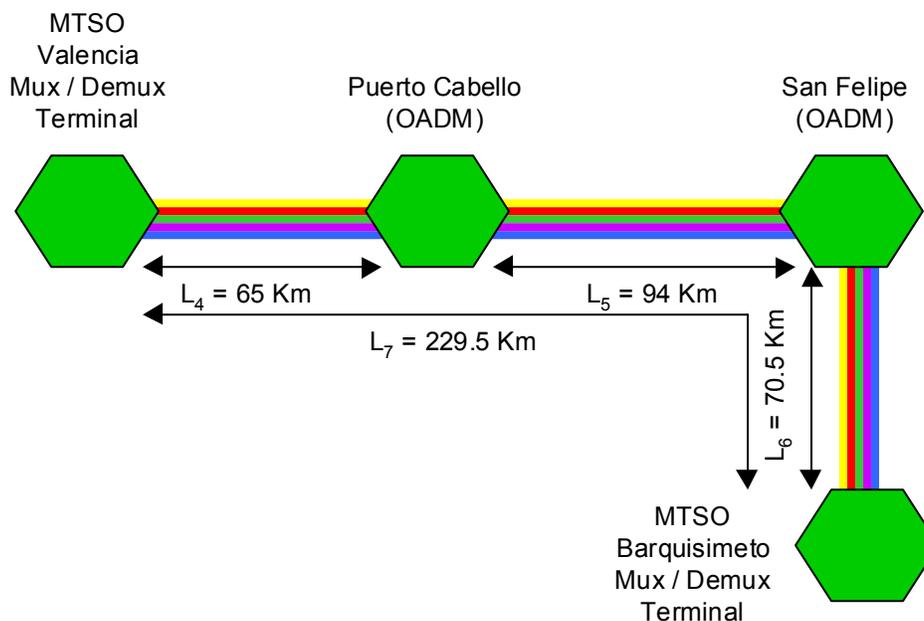


Figura 3.3 Sistema DWDM implementado en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto.

La estación Puerto Cabello es importante en el manejo del tráfico de la costa, el cual debe ser encaminado hacia MTSO Valencia y además puede servir en un futuro como punto de interconexión con el cable submarino. La estación San Felipe también es importante en el manejo del tráfico de la región, el cual debe ser encaminado al MTSO Barquisimeto. Tanto la estación Puerto Cabello como San Felipe van a servir como punto de amplificación para las longitudes de onda que se van a destinar para el intercambio de tráfico entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto.

La distancia total del tramo entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto es de 229.5 Km, la estación Puerto Cabello esta a 65 Km de la estación MTSO Valencia y la estación San Felipe esta a 70.5 Km del MTSO Barquisimeto.

Las estaciones de MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto van a disponer de multiplexores/demultiplexores DWDM del tipo terminal, y en las estaciones Puerto Cabello y San Felipe se implementa un OADM.

3.1.3.- Red Interurbana del Tramo MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo.

El sistema DWDM implementado entre el tramo MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo es el más largo, ya que consta de una longitud total de 358 kilómetros, el cual estaba inicialmente planificado para tener tres estaciones intermedias como son las estaciones Carora (Celda Carora), El Venado (Celda El Venado) y Ciudad Ojeda (Celda Ciudad Ojeda), pero en vista de que la distancia de los tramos entre las estaciones MTSO Barquisimeto - Carora (109 Km) y Carora – El Venado (114 Km) son muy largas (mucho atenuación), se tuvo que recurrir a la implementación de dos estaciones amplificadoras intermedias, las cuales se denominaron Arenales (ubicada en la población de Arenales), la cual se encuentra a 75 Km de la estación MTSO Barquisimeto y Camoruco (ubicada en la población de Camoruco), la cual se encuentra a 75 Km de la estación El Venado y a 75 Km de la estación Arenales; además se tuvo que establecer una etapa de regeneración en la estación El Venado, con la finalidad de poder implementar entre las estaciones MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo un sistema DWDM

que pueda soportar al menos una cantidad de 16 canales a 2.5 Gbps. En la siguiente figura se muestra el sistema DWDM implementado finalmente entre las estaciones MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo.

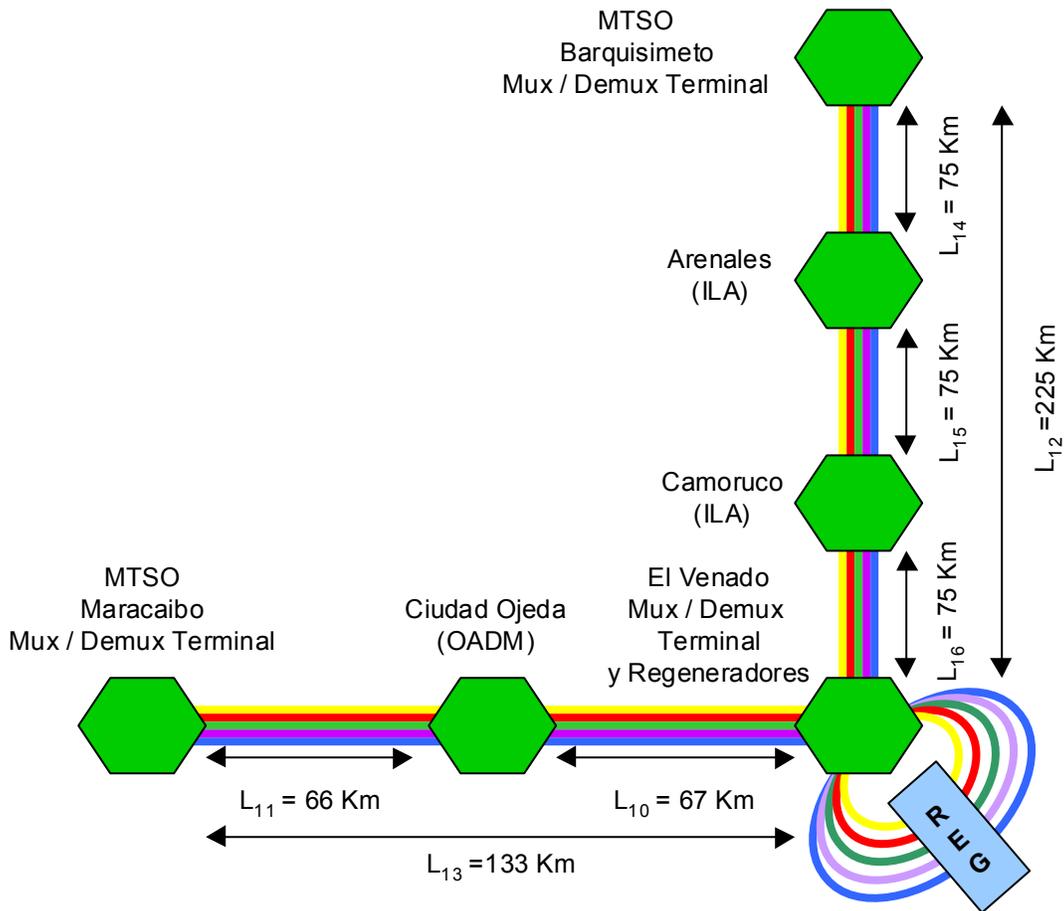


Figura 3.4 Sistema DWDM implementado en el tramo de fibra óptica interurbana entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto.

La etapa de regeneración en la estación El Venado se implementa a partir de un multiplexor y un demultiplexor terminal, y un regenerador del tipo 3R por cada canal, de modo que los canales a regenerar se interceptan a la salida del respectivo demultiplexor, para luego ser pasado a través de un regenerador, y posteriormente el canal se vuelve a multiplexar con los otros canales ya regenerados, para así ser transmitidos hacia el otro extremo.

La estación El Venado es importante en el manejo de tráfico, ya que allí converge tráfico que debe ser encaminado tanto al MTSO Barquisimeto como para el MTSO Maracaibo. La estación Ciudad Ojeda maneja tráfico que debe ser encaminado al MTSO Maracaibo, y va a servir como punto de amplificación para las longitudes de onda que van a hacer encaminadas entre MTSO Maracaibo y MTSO Barquisimeto.

3.2.- Requerimientos y Características de los Dispositivos, Equipos y Fibra Óptica a Implementar en el Proyecto Interurbano DWDM.

El proyecto ha sido planificado para soportar un gran ancho de banda, es decir, construir un proyecto futurista y muy robusto, con la finalidad de poder implementar la mayor cantidad posible de canales a 2.5 y 10 Gbps. Para ello, se ha pensado en un sistema cuyos agregados puedan soportar al menos 32 canales en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia y 16 canales en los tramos MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo, por ende, los multiplexores y demultiplexores terminales a utilizar en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia soportan 32 canales y en los tramos MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo soportan 16 canales. En cuanto a los OADMs utilizados en las estaciones intermedias permiten la inserción/extracción de hasta 4 canales en cada sentido, es decir, con una capacidad total de 8 canales en total.

En cuanto a los amplificadores ópticos a utilizar en el proyecto, existen tres tipos de amplificadores ópticos: los amplificadores de potencia (booster), los amplificadores de línea (ILA), y los preamplificadores. Las diferencias fundamentales entre ellos, dependen en parte del fabricante, y están determinadas por su ganancia, la sensibilidad de recepción, la potencia de salida y su figura de ruido. El uso del amplificador óptico en el proyecto es primordial, ya que la amplificación directa y simultánea de muchas longitudes de onda compensa las fuertes pérdidas de inserción que generan los multiplexores y demultiplexores

ópticos. También permiten alargar la distancia del tramo de fibra óptica sin tener que recurrir a los regeneradores.

Las fuentes de recepción y transmisión que se utilizan en sistema DWDM son las que ofrecen el mayor desempeño. Los fotodiodos son del tipo PIN o APD, siendo el APD el que ofrece la mayor sensibilidad de recepción. Ambos tipos de fotodiodo están diseñados para generar el menor ruido térmico posible y ofrecer un rango de longitudes de onda de entrada suficientemente amplio y dinámico.

El tipo de transmisor utilizado es el diodo láser de realimentación distribuida (DFB), el cual se caracteriza por generar un solo modo longitudinal (SML). El láser DFB de acuerdo a la tecnología con que han sido fabricado ofrece ópticamente diferentes anchos de línea, lo cual a su vez, va a delimitar la distancia del enlace. Por ejemplo, el DFB estándar tiene un ancho de línea de 12 GHz o 0.1 nm, el DFB con pantalla tiene un ancho de línea más estrecho, típicamente en el rango de 1 a 5 GHz o 0.01 a 0.05 nm, permitiendo alcanzar distancias mayores a tasas de transmisión en el orden de los gigabits. Por último, se tiene el láser DFB con modulador externo, el cual ofrece el ancho de línea más pequeño, de 1 a 2 MHz o 0.000008 nm a 0.000016 nm, el cual permite eliminar el efecto chirp y permite tasas de transmisión de hasta 40 Gbps y anchos de banda analógicos de 20 GHz o más. El problema de este tipo de láser de modulación externa es la estimulación de los efectos no lineales de la fibra, especialmente la dispersión estimulada de Brillouin (SBS).

El cable de fibra óptica interurbano en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia cuenta con dos tipos de fibra, la monomodo estándar (SMF-28 de Corning) y la NZ-DSF (LEAF de Corning), por ello, el proyecto DWDM en este tramo ha sido desarrollado con estos dos tipos de fibra, y así comparar el desempeño del sistema frente a las diferentes velocidades de transmisión y dispositivos ópticos como los amplificadores. En cuanto al cable de fibra óptica interurbano para los tramos MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo, se tiene planificado que este conformado solo por fibra del tipo NZ-DSF (LEAF de Corning), en vista de las altas prestaciones

que ofrece este tipo de fibra para enlaces de largas distancias y altas velocidades de transmisión.

Las unidades o módulos compensadores de dispersión cromática (DCU) podrían ser utilizados o no en el diseño del sistema DWDM, todo dependerá de los resultados obtenidos en los cálculos, pero idealmente se trata de evitar su incorporación en el diseño debido a que generan altas pérdidas inserción.

3.2.1.- Características de las Fibras Ópticas Utilizadas en el Proyecto.

Este proyecto en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia cuenta con la posibilidad de tener un cable de fibra óptica que contiene 48 fibras, de las cuales 36 son del tipo monomodo estándar (SMF-28 de Corning) y las otras 12 son fibras del tipo NZ-DSF (LEAF de Corning).

En el tramo entre MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo el cable contendrá 48 fibras del tipo NZ-DSF (LEAF de Corning).

3.2.1.1.- Fibra Monomodo Estándar Corning SMF-28.

La fibra monomodo SMF-28 cumple con un conjunto de estándares que le permiten ser utilizada en telefonía, televisión por cable, submarina y en aplicaciones de red. Es ampliamente usada en la transmisión de servicios de voz, datos y vídeo; la fibra SMF-28 es fabricada cumpliendo con las mayores exigencias de la industria. La fibra SMF-28 cumple o excede las recomendaciones de la ITU-T G.652, TIA/EIA-492CAAA, IEC publicación 60793-2 y GR-20-CORE.

La fibra SMF-28 ofrece baja dispersión y esta optimizada para operar en la región de los 1310 nm. También puede ser empleada efectivamente con sistemas TDM y WDM operando en la región de los 1550 nm.

- Características y beneficios:
 - Versatilidad en aplicaciones de 1310 nm y 1550 nm.

- Mejora las propiedades ópticas optimizando el desempeño de la transmisión.
- Es sobresaliente en sus propiedades geométricas generando bajas pérdidas en los empalmes.
- El proceso de fabricación empleado es OVD, lo cual produce una fibra ultra pura.

3.2.1.2.- Fibra NZ-DSF Corning LEAF (Large Effective Area Fiber).

Muchas fibras NZ-DSF tienen un Diámetro de Campo Modal (MFD) mucho más pequeño que las fibras monomodo estándar. Sin embargo, un MFD pequeño hace que las fibras sean más susceptibles a los efectos no lineales cuando se utiliza una potencia óptica muy elevada, pero algunas veces se requiere utilizar potencias ópticas elevadas para llegar a grandes distancias sin tener que amplificar. Esta es la razón por la cual los fabricantes han diseñado fibras con un mayor MFD y por lo tanto un área efectiva mayor como la LEAF. Las fibras con un área efectiva mayor están diseñadas para transmitir una potencia mucho mayor que las fibras NZ-DSF convencionales.

La fibra LEAF al tener un MFD ligeramente mayor también mejora el desempeño en los empalmes, especialmente cuando se conectan a fibras monomodo estándar como la SMF-28.

La fibra LEAF es ideal para operar con sistemas ya instalados a 2.5 Gbps, pero también sus especificaciones sobre la dispersión del modo de polarización (PMD) le permiten operar a velocidades de transmisión superiores a los 10 Gbps. Es importante señalar que este tipo de fibra está optimizada para operar en el rango de longitudes de onda de 1530 nm a 1625 nm.

3.2.1.3.- Especificaciones Ópticas para las Fibras Ópticas Corning SMF-28 y LEAF.

En la tabla 3.1, se indican las especificaciones ópticas que van hacer necesarias

para el cálculo de las diferentes ecuaciones de los enlaces de fibra óptica.

Tabla 3.1
Características de la Fibra SMF-28 y LEAF de Corning

Tipo de Fibra	ITU-T	$D(\lambda)$ @ 1550 nm (ps/nm.km)	Pendiente De la Dispersión S_0 (ps/nm ² .km)	Area Efectiva (A_{eff}) (μm ²)	Atenuación @ 1550 nm (dB/ km)	D_{PMD} (ps/ km ^{1/2})
SMF-28	NDSF/G.652	16.70	0.06	86.6	0.25	0.1
LEAF	NZ-DSF/G.655	3.67	0.105	72.36	0.25	0.04

El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda)$ es generalmente proporcionado por el fabricante de la fibra óptica o se puede definir a partir de la siguiente ecuación:

$$D(\lambda) \approx \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ps}/(\text{nm.km}) \quad (3.1)$$

Para $1200 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1600 \text{ nm}$

Donde:

- λ es la longitud de onda de operación.
- λ_0 es la longitud de onda donde la dispersión es cero.
- S_0 es la pendiente donde la dispersión es cero.

En el anexo B se puede obtener mayor información sobre las especificaciones ópticas y otras características de las fibras SMF-28 y LEAF.

3.2.2.- Parámetros de los Componentes Ópticos.

A continuación se listan los diferentes componentes ópticos que forman parte de un sistema DWDM con sus respectivos parámetros típicos, con la finalidad de

obtener los datos necesarios para definir y calcular el desempeño del sistema DWDM.

3.2.2.1.- Parámetros del Multiplexor Óptico.

Existen diferentes tipos de multiplexores ópticos, y entre ellos se tiene el de acopladores y el AWG. El multiplexor AWG en comparación con otros tipos de multiplexores ofrece grandes ventajas en cuanto a la capacidad de altas integraciones, bajas pérdidas de inserción y una excelente uniformidad entre los canales, por ello la tecnología AWG es la tendencia para el desarrollo de multiplexores con más 32 canales. En la siguiente tabla se muestran los valores típicos de los parámetros de un multiplexor óptico.

Tabla 3.2
Parámetros de un Multiplexor Óptico

Item	Unidad	Parámetros Multiplexor Acoplador	Parámetros Multiplexor AWG
Pérdidas de Inserción	dB	<17	<10
Coeficiente de Reflexión	dB	<-40	<-40
Rango de Longitud de Onda	nm	1535 ~ 1570	1535 ~ 1570
PDL	dB	<0.5	<0.5
Aislamiento de Canal Adyacente	dB	>22	>22
Crosstalk de Canal	dB	< -25	< -25
Aislamiento de Canal No Adyacente	dB	>25	>25

3.2.2.2.- Parámetros del Demultiplexor Óptico.

En la siguiente tabla se muestran los valores típicos para los parámetros de un demultiplexor óptico.

Tabla 3.3

Parámetros de un Demultiplexor Optico

Item	Unidad	Parámetros
Espaciado de Canal	GHz	100
Pérdidas de Inserción	dB	<10
Coeficiente de Reflexión	dB	<-40
PDL	dB	<0.5
Aislamiento de Canal Adyacente	dB	>25
Aislamiento de Canal No Adyacente	dB	>25
Ancho de Banda @ -1dB	nm	>0.2
Ancho de Banda @ -20dB	nm	<1.4

La técnica utilizada para la construcción de los demultiplexores ópticos es la misma que la de los multiplexores ópticos. Existen algunos demultiplexores ópticos que además de realizar su función inherente, pueden medir la potencia óptica de la señal de entrada.

3.2.2.3.- Parámetros del Amplificador Optico.

En la siguiente tabla se muestran los valores típicos de los parámetros de un amplificador óptico que puede ser utilizado tanto como booster, ILA y preamplificador.

Tabla 3.4

Parámetros de un Amplificador Optico

Item	Unidad	Parámetros
Ancho de Banda de Longitudes de Onda	nm	1535~1561
Rango de la potencia total de entrada	dBm	-20 ~ - 3
Rango de la potencia de entrada del canal	dBm	-20 ~ - 3

Tabla 3.4 (continuación)

Item	Unidad	Parámetros
Rango de la potencia de salida del canal	dBm	3 ~ 20
Máxima potencia de salida	dBm	20
Figura de ruido (NF)	dB	<6
Ganancia del canal	dB	20 ~ 25
Ganancia Plana	dB	±1
PDL	dB	<0.5
PMD	ps	<0.1

Es importante señalar que se disponen de amplificadores ILA y preamplificadores de dos etapas. En el caso de los ILA, se utilizan cuando se requiere instalar una unidad compensadora de dispersión, la cual tiene altas pérdidas de inserción. Esta unidad de compensación se instala entre las dos etapas. En el caso de los preamplificadores, las dos etapas ofrecen una mayor sensibilidad en la recepción.

3.2.2.4.- Parámetros de un Adaptador de Longitud de Onda (Transponder Optico).

El transponder óptico permite que un sistema pueda ser configurado con una arquitectura abierta, de modo que el sistema DWDM pueda ofrecer acceso a un equipo de transmisión óptica de cualquier fabricante.

Los fabricantes de transponder ópticos ofrecen una versión con una tecnología de codificación de corrección de errores o también llamada FEC. La ventaja de tener la FEC en el transponder es que provee una mejora significativa en la relación señal a ruido óptica (OSNR), la cual puede estar alrededor de 4 dB.

En las siguientes tablas se muestran los valores típicos de los parámetros de una interfaz de un transponder óptico que es empleado del lado de la transmisión, del lado de la recepción y como regenerador. En estas tablas, cuando se hace referencia a 80G y 320 G significa la velocidad de transmisión de la data para 32 canales @ 2.5 Gbps y 32 canales @ 10 Gbps respectivamente.

- Del lado transmisor se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.5

Parámetros de un Transponder Optico del Lado Transmisor

	Item	Unidad	80G	320G
TX	Tipo de fuente nominal		MQW-DFB-LD	MQW-DFB-LD
	Máximo ancho de banda a -20dB	nm	0.2	0.3
	Mínimo SMSR	dB	35	35
	Chirp	rad	*	*
	Max potencia de transmisión	dBm	0	-1
	Min potencia de transmisión	dBm	-10	-4
	Mínimo radio de extinción	dB	>10	>10
	Patrón de ojo		G.957	G.691
	Frecuencia central nominal	THz	192.1~195.2	192.1~195.2
	Desviación de la frecuencia central	GHz	±20	±10
	Tolerancia a la dispersión	ps/nm	12800	12800
RX	Tipo de fuente en recepción		PIN/APD	PIN
	Sensibilidad en recepción (BER ≤10 ⁻¹²)	dBm	-18/-25	-14
	Potencia de sobrecarga	dBm	0/-9	0
	Rango de longitudes de onda de entrada	nm	1280~1565	1280~1565

- Del lado receptor se tiene la siguiente tabla:

Tabla 3.6

Parámetros de un Transponder Optico del Lado Transmisor

	Item	Unidad	80G	320G
TX	Tipo de fuente nominal		MQW-DFB-LD	MQW-DFB-LD
	Max potencia de transmisión	dBm	-9	2
	Min potencia de transmisión	dBm	-18	-1
	Mínimo radio de extinción	dB	8.2	8.2
	Patrón de ojo		G.957	G.691
	Rango de longitudes de onda de salida	nm	1500~1580	1500~1580
RX	Tipo de fuente en recepción		PIN/APD	PIN
	Sensibilidad en recepción (BER $\leq 10^{-12}$)	dBm	-18/-25	-14
	Potencia de sobrecarga	dBm	0/-9	0
	Rango de longitudes de onda de entrada	nm	1280~1565	1280~1565

- Como regenerador se tiene la siguiente tabla.

Tabla 3.7

Parámetros de un Transponder Optico como Regenerador

	Item	Unidad	80G	320G
TX	Tipo de fuente nominal		MQW-DFB-LD	MQW-DFB-LD
	Máximo ancho de banda a -20dB	nm	0.2	0.3
	Mínimo SMSR	dB	35	35
	Chirp	rad	+0.2 ~-0.2	+0.2 ~-0.2
	Max potencia de transmisión	dBm	1	-1
	Min potencia de transmisión	dBm	-10	-4
	Mínimo radio de extinción	dB	10	10

Tabla 3.7 (continuación)

	Item	Unidad	80G	320G
TX	Patrón de ojo		G.957	G.691
	Frecuencia central nominal	THz	192.1~195.2	192.1~195.2
	Desviación de la frecuencia central	GHz	±20	±10
	Tolerancia a la dispersión	ps/nm	12800	12800
RX	Tipo de fuente en recepción		PIN/APD	PIN
	Sensibilidad en recepción (BER ≤10 ⁻¹²)	dBm	-18/-25	-14
	Potencia de sobrecarga	dBm	0/-9	0
	Rango de longitudes de onda de entrada	nm	1280~1565	1280~1565

3.2.2.5.- Parámetros de una Interfaz Óptica de un OADM.

En la siguiente tabla se muestran los valores típicos de los parámetros de la interfaz óptica de un OADM. Las pérdidas de inserción del OADM dependen de la cantidad de canales que se puede extraer e insertar el OADM y del espaciado entre canales.

Tabla 3.8

Parámetros de un OADM de 4 Canales

Item	Longitud de Onda Insertada	Longitud de Onda Extraída
Rango de longitudes de onda (nm)	1500~1570	
Espaciado de canal	Múltiplo de 100 GHz	
Ancho de banda del canal	>0.2nm@ 1dB	
Pérdidas de inserción de la longitud de onda insertada/extraída (dB)	< 4.5	< 4.5
Pérdidas de inserción del canal (dB)	<5.0	

Tabla 3.8 (continuación)

Item	Longitud de Onda Insertada	Longitud de Onda Extraída
Espaciado de canal adyacente (dB)	>25	
Flatness entre los canales insertados/extraídos (dB)	<1	
Max potencia de entrada (W)	0.25	
Temperatura de trabajo (°C)	0~+65	

3.2.2.6.- Parámetros de la Unidad Compensadora de Dispersión (DCU).

Las fibras ópticas G.652 (SMF-28) y G.655 (LEAF) tienen un coeficiente de dispersión positivo y una pendiente de dispersión positiva en la ventana de 1550 nm. Cuando la señal óptica es transmitida para una cierta distancia, la acumulación de la dispersión positiva puede causar ensanchamiento de los pulsos de la señal afectando seriamente el desempeño del sistema de transmisión. Las unidades compensadoras de dispersión adoptan un método de compensación pasiva al utilizar una fibra óptica con dispersión negativa y así contrarrestar la dispersión positiva de la fibra óptica de transmisión, lo cual conlleva a la compresión del pulso.

En cuanto a la ubicación de los DCU en el sistema de transmisión, si la fibra es del tipo G.652, la cual tiene un coeficiente de dispersión alto, usualmente son ubicados entre el multiplexor y el amplificador de potencia (booster), como también entre un preamplificador y un booster. En el caso de la fibra G.655, que tiene un coeficiente de dispersión bajo, el DCU es ubicado entre el multiplexor y el booster.

Las principales y típicas características de las unidades compensadoras de dispersión se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.9

Parámetros de una Unidad Compensadora de Dispersión

Parámetro		DCM20	DCM40	DCM60	DCM80
Típica distancia de compensación (km)	G.652	20	40	60	80
	G.655	80	160	240	320
Cantidad de dispersión (ps/nm) (1545 nm)		-330(±2%)	-660 (±2%)	-990 (±2%)	-1320 (±2%)
Pendiente de dispersión mínima (ps/nm ²)		-0.876	-1.753	-2.603	-3.471
Pérdidas de Inserción (dB)		<4	<6	<8	<10
PMD (ps)		0.5	0.7	0.8	1.0
PDL (dB)		0.1	0.1	0.1	0.1

3.3.- Dispersión en la Fibra Óptica.

Existen varias fuentes de dispersión en una fibra óptica, en las fibras monomodo las dos principales fuentes son la dispersión por el modo de polarización (PMD) y la dispersión cromática o también llamada intramodal. En el caso de una fibra multimodo la principal fuente de dispersión es la intermodal y se consideran despreciables la dispersión cromática y la PMD. En la siguiente ecuación se establece la relación entre las diferentes dispersiones que afectan el ensanchamiento del pulso durante su propagación por una fibra óptica:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{intermodal}^2 + \sigma_{PMD}^2 \quad (3.2)$$

Para la fibra monomodo la ecuación anterior queda reducida a:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{PMD}^2 \quad (3.3)$$

3.3.1.- Dispersión Cromática.

La dispersión cromática puede darse en todos los tipos de fibra y es debido a que el emisor óptico no es totalmente monocromático, ya que produce energía en una banda de longitudes de onda centradas en una frecuencia principal, donde la velocidad de la onda transmitida es dependiente de su longitud de onda y del índice de refracción de la fibra, por lo que las diferentes longitudes de onda que conforman el pulso se propagan a diferentes velocidades y llegan al final de la fibra en diferentes tiempos causando dispersión o ensanchamiento en la señal, y en consecuencia los pulsos pueden interferir uno con otros generando un ruido llamado Interferencia intersimbólica (ISI), el cual a su vez afecta la tasa de BER en el receptor.

Las diferencias en los retardos de las diferentes componentes cromáticas de cada modo pueden ser debidas a dos motivos: a las propiedades dispersivas del material de la fibra (dispersión del material) y al guiado en la estructura de la fibra (dispersión de guía de onda).

La dispersión del material (σ_{material}) se debe a las velocidades de los distintos componentes cromáticos que forman parte del espectro del emisor y se define como:

$$\sigma_{\text{material}} = M(\lambda)\sigma_{\lambda}L \quad (3.4)$$

Donde:

- $M(\lambda)$ es el coeficiente de dispersión del material.
- L es la longitud del enlace.
- σ_{λ} es el ancho espectral gaussiano de un pulso que esta dominado por el ancho espectral de la fuente, y su valor se determina de la siguiente manera:
 - Para láseres de modo multilongitudinal (MLM), usualmente Fabry-Perot, el valor de σ_{λ} es aproximadamente la mitad de la anchura a media altura.

- Para láseres de un solo modo longitudinal, usualmente láseres DFB, el valor de σ_λ viene dado por la anchura a -20 dB dividido por 6.07.

La dispersión de guía de onda se debe a la variación de la velocidad de grupo con la longitud de onda para un modo particular. Basándose en la aproximación geométrica se sabe que un modo se define con el ángulo que hay entre el rayo y el eje de la fibra. Si este ángulo se modificará al cambiar la longitud de onda se tendría dispersión, ya que los caminos recorridos serían distintos para cada longitud de onda. La dispersión de guía de onda se define como:

$$\sigma_{guiaonda} = -G(\lambda)\sigma_\lambda L \quad (3.5)$$

Donde:

- $G(\lambda)$ es el coeficiente de dispersión de guía de onda.

Finalmente, en la siguiente ecuación se aprecia como la dispersión del material y de la guía de onda definen la dispersión cromática:

$$\sigma_{cromática} = \sigma_{material} + \sigma_{guiaonda} \quad (3.6)$$

$$\sigma_{cromática} = M(\lambda)\sigma_\lambda L - G(\lambda)\sigma_\lambda L \quad (3.7)$$

$$\sigma_{cromática} = \underbrace{M(\lambda) - G(\lambda)}_{|D(\lambda)|} \sigma_\lambda L = |D(\lambda)| \sigma_\lambda L \quad (3.8)$$

Donde:

- $D(\lambda)$ es el coeficiente de dispersión cromática.

3.3.2.- Dispersión por el Modo de Polarización.

La dispersión por el modo de polarización (PMD) en una fibra monomodo causa ensanchamiento del pulso de manera similar a la dispersión cromática, generándose una interferencia intersimbólica, la cual es responsable de la degradación de la señal en sistemas de transmisión digital. Este valor es por lo general muy pequeño, pero para los casos donde se opera cerca de la dispersión cero es el factor limitante.

La PMD es un fenómeno que causa problemas en sistemas analógicos multicanales como los de cable y TV, y en sistemas digitales de grandes distancias y altas tasas de transmisión (10 Gbps). La PMD puede ser expresada como:

$$\sigma_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L} \quad (3.9)$$

Donde:

- D_{PMD} es el coeficiente de dispersión del modo de polarización de la fibra, en la cual hay que considerar que el doblado de la fibra puede incrementarlo.
- σ_{PMD} es el tiempo promedio de los diferentes tiempos de retardo.

Las fibras ópticas tienen un coeficiente de dispersión del modo de polarización menor a los 0.5 ps/Km^{1/2} (Ej: ITU-T G.652, G.653, y G.655). Para una señal de una velocidad alrededor de los 10 Gbps, este coeficiente PMD va a limitar la longitud de la fibra a 400 Km.

3.3.3.- Impacto en los Sistemas.

En un enlace de comunicaciones ópticas digitales es importante conocer la máxima velocidad de transmisión a una distancia L . La velocidad de transmisión es la inversa del tiempo de bit (bit slot) y su máximo valor se obtiene a través de la

relación con la anchura temporal de un pulso propagado por la fibra óptica (σ), la cual se muestra a continuación:

$$B_R = \frac{1}{T} = \frac{1}{\varepsilon\sigma} \quad (3.10)$$

Donde:

- Para un sistema donde la anchura espectral del pulso esta dominada por la fuente (caso del láser utilizado en el proyecto), el valor de la anchura temporal de un pulso propagado por la fibra óptica se puede definir como:

$$\sigma \approx \sigma_{fibra} \quad (3.11)$$

- σ_{fibra} es el ensanchamiento del pulso durante su propagación por una fibra óptica.
- El valor de ε depende de una multitud de factores (forma de pulso, tipo de fibra, cómo se ensancha el pulso, etc.) pero se basa en gran medida en resultados empíricos, y puede ser distinta para diferentes esquemas de enlaces ópticos. Si la forma del pulso es gaussiana, entonces el valor de ε es tal que:

$$B_R = \frac{1}{4\sigma_{fibra}} \quad (3.12)$$

En este caso el 95% de la potencia del pulso esta contenido en el bit-slot y la exigencia a los sistemas es con una potencia de penalización menor de 1 dB en función de la anchura del pulso con respecto al tiempo de bit.

En cuanto a la longitud máxima del enlace óptico para un sistema con anchura espectral dominada por la fuente, se tiene que:

$$L_{max} = \frac{1}{4|D|B_R\sigma_\lambda} \quad (3.13)$$

3.3.4.- Cálculo de la Dispersión en la Fibra Monomodo Estándar SMF-28.

Los cálculos de la dispersión en la fibra SMF-28 van estar conformados por los de la dispersión cromática y por la dispersión por el modo de polarización y dichos cálculos van a estar destinados al tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia, ya que el cable de fibra interurbano que contiene este tipo de fibra esta en el mencionado tramo.

Es importante reseñar que la fibra monomodo estándar está diseñada con un índice escalonado y tiene una longitud de cero dispersión alrededor de los 1310 nm.

3.3.4.1.- Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra SMF-28 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

Para el cálculo de la dispersión cromática se tienen los siguientes datos:

- Para una $\lambda=1550$ nm se obtiene un coeficiente de dispersión $D = 16.71$ ps/mn.Km.
- El láser DFB tiene una anchura a -20 dB de 0.2 nm, por lo que el ancho espectral gaussiano del pulso es $\sigma_\lambda = 0.2$ nm / 6.07 = 0.033 nm.
- $L_1 = 142$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal).
- $L_2 = 49$ Km (distancia entre las estaciones Venepal y MTSO Valencia).
- $L_3 = 191$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Canaima y MTSO Valencia).

A partir de la siguiente ecuación se calcula la dispersión cromática en L_1 , L_2 y L_3 para $\sigma_\lambda = 0.033$ nm.

$$\sigma_{cromática} = |D|L\sigma_\lambda$$

- Para L_1

$$\sigma_{cromática} = (16.7 \text{ ps} / \text{nm.km})(142 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 78.25 \text{ ps}$$

- Para L_2

$$\sigma_{cromática} = (16.7 \text{ ps} / \text{nm.km})(49 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 27 \text{ ps}$$

- Para L_3

$$\sigma_{cromática} = (16.7 \text{ ps} / \text{nm.km})(191 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 105.26 \text{ ps}$$

3.3.4.2.- Cálculo de la PMD con Fibra SMF-28 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.

Para el cálculo de la dispersión por el modo de polarización se tienen los siguientes datos:

- La fibra SMF-28 tiene un $D_{PMD} = 0.1 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}}$

El ensanchamiento del pulso debido a la PMD para una fibra SMF-28 se define a partir de la ecuación 3.9:

$$\sigma_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L_1 :

$$\sigma_{PMD} = 0.1 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}} (\sqrt{142 \text{ km}}) = 1.19 \text{ ps}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₂:

$$\sigma_{PMD} = 0.1 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{49km}) = 0.7 ps$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₃:

$$\sigma_{PMD} = 0.1 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{191km}) = 1.38 ps$$

3.3.4.3.- Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra SMF-28 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

El ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD se define a partir de la ecuación 3.3:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{PMD}^2$$

Para la fibra SMF-28 se tiene la siguiente σ_{Fibra} en L₁, L₂ y L₃:

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₁:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(78.25 ps)^2 + (1.19 ps)^2} = 78.25 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₂:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(27 ps)^2 + (0.7 ps)^2} = 27 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₃:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(105.26 ps)^2 + (1.38 ps)^2} = 105.26 ps$$

La máxima tasa de bit para una codificación NRZ limitada por el ancho espectral del pulso puede ser calculada a partir de la ecuación 3.12 (de un cuarto de intervalo de bit):

$$B_R < (4\sigma_{Fibra})^{-1}$$

Para la fibra SMF-28 se tiene el siguiente B_R en L₁, L₂ y L₃:

- Cálculo del B_R para L₁:

$$B_R < \frac{1}{4(78.25 ps)} = 3.19 Gbps$$

- Cálculo del B_R para L₂:

$$B_R < \frac{1}{4(27 ps)} = 9.25 Gbps$$

- Cálculo del B_R para L₃:

$$B_R < \frac{1}{4(105.26 ps)} = 2.37 Gbps$$

La máxima longitud del enlace óptico limitado por el ancho espectral del pulso puede ser calculada a partir de la ecuación 3.13:

$$L_{max} = \frac{1}{4|D|B_R\sigma_\lambda}$$

Se calcula la máxima distancia para una tasa de bit de 2.5 Gbps y 10 Gbps:

- Para un $B_R = 2.5$ Gbps se tiene:

$$L_{max} = \frac{1}{4(0.033nm)(16.70ps/nm.km)(2.5Gbps)} = 181.4km$$

- Para un $B_R = 10$ Gbps se tiene:

$$L_{max} = \frac{1}{4(0.033nm)(16.70ps/nm.km)(10Gbps)} = 45.36km$$

3.3.5.- Cálculo de la Dispersión en la Fibra Monomodo LEAF.

Los cálculos de la dispersión en la fibra LEAF van estar conformados por los de la dispersión cromática y por la dispersión por el modo de polarización y dichos cálculos van a estar destinados en principio a los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

3.3.5.1.- Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal – MTSO Valencia.

Para el cálculo de la dispersión cromática se tienen los siguientes datos:

- Para una $\lambda = 1550$ nm se obtiene un coeficiente de dispersión $D = 3.67ps/mn.Km$.

- El láser DFB tiene una anchura a -20 dB de 0.2 nm, por lo que el ancho espectral gaussiano del pulso es $\sigma_\lambda = 0.2 \text{ nm} / 6.07 = 0.033 \text{ nm}$.
- $L_1 = 142 \text{ Km}$ (distancia entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal).
- $L_2 = 49 \text{ Km}$ (distancia entre las estaciones Venepal y MTSO Valencia).
- $L_3 = 191 \text{ Km}$ (distancia entre las estaciones MTSO Canaima y MTSO Valencia).

Se calcula la dispersión cromática en L_1 , L_2 y L_3 para $\sigma_\lambda = 0.033 \text{ nm}$, a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{cromática}} = |D|L\sigma_\lambda$$

- Para L_1

$$\sigma_{\text{cromática}} = (3.67 \text{ ps} / \text{nm.km})(142 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 17.19 \text{ ps}$$

- Para L_2

$$\sigma_{\text{cromática}} = (3.67 \text{ ps} / \text{nm.km})(49 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 5.93 \text{ ps}$$

- Para L_3

$$\sigma_{\text{cromática}} = (3.67 \text{ ps} / \text{nm.km})(191 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 23.13 \text{ ps}$$

3.3.5.2.- Cálculo de la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.

Para el cálculo de la dispersión por el modo de polarización se tienen los siguientes datos:

- La fibra LEAF tiene una $D_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}}$

El ensanchamiento del pulso debido a la PMD para una fibra LEAF se define a partir de la ecuación 3.9:

$$\sigma_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₁:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{142km}) = 0.47 ps$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₂:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{49km}) = 0.28 ps$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₃:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{191km}) = 0.55 ps$$

3.3.5.3.- Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

El ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD se define a partir de la ecuación 3.3:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{PMD}^2$$

Para la fibra LEAF se tiene la siguiente σ_{Fibra} en L₁, L₂ y L₃:

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₁:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(17.19 ps)^2 + (0.47 ps)^2} = 17.19 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₂:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(5.93 ps)^2 + (0.28 ps)^2} = 5.93 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₃:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(23.13 ps)^2 + (0.55 ps)^2} = 23.13 ps$$

La máxima tasa de bit para una codificación NRZ limitada por el ancho espectral del pulso puede ser calculada a partir de la ecuación 3.12 (de un cuarto de intervalo de bit):

$$B_R < (4\sigma_{Fibra})^{-1}$$

Para la fibra LEAF se tiene el siguiente B_R en L₁, L₂ y L₃:

- Cálculo del B_R para L₁:

$$B_R < \frac{1}{4(17.19 ps)} = 14.54 Gbps$$

- Cálculo del B_R para L₂:

$$B_R < \frac{1}{4(5.93 ps)} = 42.15 Gbps$$

- Cálculo del B_R para L_3 :

$$B_R < \frac{1}{4(23.13 \text{ ps})} = 10.8 \text{ Gbps}$$

La máxima longitud del enlace óptico limitado por el ancho espectral del pulso puede ser calculada a partir de la ecuación 3.13:

$$L_{max} = \frac{1}{4|D|B_R\sigma_\lambda}$$

Se calcula la máxima distancia para una tasa de bit de 2.5 Gbps y 10 Gbps:

- Para un $B_R = 2.5$ Gbps se tiene:

$$L_{max} = \frac{1}{4(0.033 \text{ nm})(3.67 \text{ ps / nm.km})(2.5 \text{ Gbps})} = 825 \text{ km}$$

- Para un $B_R = 10$ Gbps se tiene:

$$L_{max} = \frac{1}{4(0.033 \text{ nm})(3.67 \text{ ps / nm.km})(10 \text{ Gbps})} = 206.42 \text{ km}$$

3.3.5.4.- Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

Para el cálculo de la dispersión cromática se tienen los siguientes datos:

- Para una $\lambda = 1550$ nm se obtiene un coeficiente de dispersión $D = 3.67 \text{ ps/mn.Km}$.
- El láser DFB tiene una anchura a -20 dB de 0.2 nm, por lo que el ancho espectral gaussiano del pulso es $\sigma_\lambda = 0.2 \text{ nm} / 6.07 = 0.033 \text{ nm}$.

- $L_4 = 65$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Valencia y Puerto Cabello).
- $L_5 = 94$ Km (distancia entre las estaciones Puerto Cabello y San Felipe).
- $L_6 = 70.5$ Km (distancia entre las estaciones San Felipe y MTSO Barquisimeto).
- $L_7 = 229.5$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto).
- $L_8 = 159$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Valencia y San Felipe).
- $L_9 = 164.5$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Barquisimeto y Puerto Cabello).

Se calcula la dispersión cromática en L_4 , L_5 , L_6 , L_7 , L_8 y L_9 a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{cromática} = |D|L\sigma_{\lambda}$$

- Para L_4

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(65\text{km})(0.033\text{nm}) = 7.87 \text{ ps}$$

- Para L_5

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(94\text{km})(0.033\text{nm}) = 11.38 \text{ ps}$$

- Para L_6

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(70.5\text{km})(0.033\text{nm}) = 8.53 \text{ ps}$$

- Para L_7

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(229.5\text{km})(0.033\text{nm}) = 27.79 \text{ ps}$$

- Para L₈

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps} / \text{nm.km})(159 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 19.25 \text{ ps}$$

- Para L₉

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps} / \text{nm.km})(164.5 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 19.92 \text{ ps}$$

3.3.5.5.- Cálculo de la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

Para el cálculo de la dispersión por el modo de polarización se tienen los siguientes datos:

- La fibra LEAF tiene una $D_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}}$

El ensanchamiento del pulso debido a la PMD para una fibra LEAF se define a partir de la ecuación 3.9:

$$\sigma_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₄:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}} (\sqrt{65 \text{ km}}) = 0.32 \text{ ps}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₅:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}} (\sqrt{94 \text{ km}}) = 0.38 \text{ ps}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₆:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{70.5km}) = 0.33 ps$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₇:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{229.5km}) = 0.6 ps$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₈:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{159km}) = 0.5 ps$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₉:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{164.5km}) = 0.5 ps$$

3.3.5.6.- Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

El ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD se define a partir de la ecuación 3.3:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{PMD}^2$$

Para la fibra LEAF se tiene la siguiente σ_{Fibra} en L₄, L₅, L₆, L₇, L₈ y L₉:

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₄:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(7.87 ps)^2 + (0.32 ps)^2} = 7.87 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₅:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(11.38 ps)^2 + (0.38 ps)^2} = 11.38 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₆:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(8.53 ps)^2 + (0.33 ps)^2} = 8.53 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₇:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(27.79 ps)^2 + (0.6 ps)^2} = 27.79 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₈:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(19.25 ps)^2 + (0.5 ps)^2} = 19.25 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₉:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(19.92 ps)^2 + (0.5 ps)^2} = 19.92 ps$$

La máxima tasa de bit para una codificación NRZ limitada por el ancho espectral del pulso puede ser calculada a partir de la ecuación 3.12 (de un cuarto de intervalo de bit):

$$B_R < (4\sigma_{Fibra})^{-1}$$

Para la fibra LEAF se tiene el siguiente B_R en L₄, L₅, L₆, L₇, L₈ y L₉:

- Cálculo del B_R para L₄:

$$B_R < \frac{1}{4(7.87 \text{ ps})} = 31.76 \text{ Gbps}$$

- Cálculo del B_R para L₅:

$$B_R < \frac{1}{4(11.38 \text{ ps})} = 21.96 \text{ Gbps}$$

- Cálculo del B_R para L₆:

$$B_R < \frac{1}{4(8.53 \text{ ps})} = 29.3 \text{ Gbps}$$

- Cálculo del B_R para L₇:

$$B_R < \frac{1}{4(27.79 \text{ ps})} = 8.99 \text{ Gbps}$$

- Cálculo del B_R para L₈:

$$B_R < \frac{1}{4(19.25 \text{ ps})} = 12.98 \text{ Gbps}$$

- Cálculo del B_R para L₉:

$$B_R < \frac{1}{4(19.92 \text{ ps})} = 12.55 \text{ Gbps}$$

3.3.5.7.- Cálculo de la Dispersión Cromática con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

Para el cálculo de la dispersión cromática se tienen los siguientes datos:

- Para una $\lambda=1550$ nm se obtiene un coeficiente de dispersión $D=3.67$ ps/mn.Km.
- El láser DFB tiene una anchura a -20 dB de 0.2 nm, por lo que el ancho espectral gaussiano del pulso es $\sigma_\lambda=0.2$ nm / $6.07 = 0.033$ nm.
- $L_{10} = 67$ Km (distancia entre las estaciones El Venado y Ciudad Ojeda).
- $L_{11} = 66$ Km (distancia entre las estaciones Ciudad Ojeda y MTSO Maracaibo).
- $L_{12} = 223$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Barquisimeto y El Venado).
- $L_{13} = 133$ Km (distancia entre las estaciones El Venado y MTSO Maracaibo).

Se calcula la dispersión cromática en L_{10} , L_{11} , L_{12} , y L_{13} a partir de la ecuación:

$$\sigma_{cromática} = |D|L\sigma_\lambda$$

- Para L_{10}

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(67 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 8.11 \text{ ps}$$

- Para L_{11}

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(66 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 7.99 \text{ ps}$$

- Para L_{12}

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps / nm.km})(223 \text{ km})(0.033 \text{ nm}) = 27 \text{ ps}$$

- Para L₁₃

$$\sigma_{cromática} = (3.67 \text{ ps} / \text{nm.km})(133\text{km})(0.033\text{nm}) = 16.1 \text{ ps}$$

3.3.5.8.- Cálculo de la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

Para el cálculo de la dispersión por el modo de polarización se tienen los siguientes datos:

- La fibra LEAF tiene una $D_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}}$

El ensanchamiento del pulso debido a la PMD para una fibra LEAF se define a partir de la ecuación 3.9:

$$\sigma_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₁₀:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}} (\sqrt{67\text{km}}) = 0.32 \text{ ps}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₁₁:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}} (\sqrt{66\text{km}}) = 0.32 \text{ ps}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₁₂:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{\text{ps}}{\sqrt{\text{km}}} (\sqrt{223\text{km}}) = 0.59 \text{ ps}$$

- Cálculo del σ_{PMD} para L₁₃:

$$\sigma_{PMD} = 0.04 \frac{ps}{\sqrt{km}} (\sqrt{133km}) = 0.46 ps$$

3.3.5.9.- Cálculo del Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD con Fibra LEAF en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco- El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

El ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD se define a partir de la ecuación 3.3:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{PMD}^2$$

Para la fibra LEAF se tiene la siguiente σ_{Fibra} en L₁₀, L₁₁, L₁₂, y L₁₃:

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₁₀:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(8.11 ps)^2 + (0.32 ps)^2} = 8.11 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₁₁:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(7.99 ps)^2 + (0.32 ps)^2} = 7.99 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L₁₂:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(27 ps)^2 + (0.59 ps)^2} = 27 ps$$

- Cálculo del σ_{Fibra} para L13:

$$\sigma_{Fibra} = \sqrt{(16.1ps)^2 + (0.46ps)^2} = 16.1ps$$

La máxima tasa de bit para una codificación NRZ limitada por el ancho espectral del pulso puede ser calculada a partir de la ecuación 3.12:

$$B_R < (4\sigma_{Fibra})^{-1}$$

Para la fibra LEAF se tiene el siguiente B_R en L10, L11, L12, y L13:

- Cálculo del B_R para L10:

$$B_R < \frac{1}{4(8.11ps)} = 30.82Gbps$$

- Cálculo del B_R para L11:

$$B_R < \frac{1}{4(7.99ps)} = 31.28Gbps$$

- Cálculo del B_R para L12:

$$B_R < \frac{1}{4(27ps)} = 9.25Gbps$$

- Cálculo del B_R para L13:

$$B_R < \frac{1}{4(16.1ps)} = 15.52Gbps$$

3.3.6.- Conclusiones Sobre los Efectos de la Dispersión.

En la tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos sobre los cálculos de la dispersión con las fibras SMF-28 y LEAF en el tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia y con la fibra LEAF en los tramos MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo, donde además se indica la máxima velocidad de transmisión para el código NRZ y la máxima distancia que puede alcanzar el enlace en velocidades de transmisión de 2.5 Gbps y 10 Gbps para una penalidad de potencia por dispersión de 1dB.

Tabla 3.10

Resultados de los Efectos de la Dispersión en el Tramo
MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia

	SMF-28	LEAF
σ_{Fibra} en L ₁	78.25 ps	17.19 ps
σ_{Fibra} en L ₂	27 ps	5.93 ps
σ_{Fibra} en L ₃	105.26 ps	23.13 ps
B_R en L ₁	< 3.19 Gbps	< 14.54 Gbps
B_R en L ₂	< 9.25 Gbps	< 42.15 Gbps
B_R en L ₃	< 2.37 Gbps	< 10.8 Gbps
L_{max} a 2.5 Gbps @ 1 dB de penalización de potencia	181.4 km	825 km
L_{max} a 10 Gbps @ 1 dB de penalización de potencia	45.36 km	206.42 km

Es importante destacar en la tabla anterior el efecto que va a tener la dispersión cromática sobre la velocidad de transmisión y la máxima longitud del enlace a 2.5 y 10 Gbps, donde es evidente que la fibra monomodo estándar SMF-28 ofrece una mayor restricción que la fibra LEAF, y por ende para sacarle un mayor aprovechamiento a la fibra SMF-28 en enlaces de larga distancia hay

que recurrir a dispositivos compensadores de dispersión o regeneradores O-E-O del tipo 3R.

Tabla 3.11

Resultados de los Efectos de la Dispersión en el Tramo
MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

	LEAF
σ_{Fibra} en L ₄	7.87 ps
σ_{Fibra} en L ₅	11.38 ps
σ_{Fibra} en L ₆	8.53 ps
σ_{Fibra} en L ₇	27.79 ps
σ_{Fibra} en L ₈	19.25 ps
σ_{Fibra} en L ₉	19.92 ps
B_R en L ₄	< 31.76 Gbps
B_R en L ₅	< 21.96 Gbps
B_R en L ₆	< 29.3 Gbps
B_R en L ₇	< 8.99 Gbps
B_R en L ₈	< 12.98 Gbps
B_R en L ₉	< 12.55 Gbps
L_{max} a 2.5 Gbps @ 1 dB de penalización de potencia	825 km
L_{max} a 10 Gbps @ 1 dB de penalización de potencia	206.42 km

Tabla 3.12

Resultados de los Efectos de la Dispersión en el Tramo MTSO Barquisimeto –
Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo

	LEAF
σ_{Fibra} en L ₁₀	8.11 ps
σ_{Fibra} en L ₁₁	7.99 ps
σ_{Fibra} en L ₁₂	27 ps
σ_{Fibra} en L ₁₃	16.1 ps
B_R en L ₁₀	< 30.82 Gbps
B_R en L ₁₁	< 31.28 Gbps

Tabla 3.12 (continuación)

	LEAF
B_R en L_{12}	< 9.25 Gbps
B_R en L_{13}	< 15.52 Gbps
L_{max} a 2.5 Gbps @ 1 dB de penalización de potencia	825 km
L_{max} a 10 Gbps @ 1 dB de penalización de potencia	206.42 km

3.4.- Penalización de Potencia.

La diferencia entre la potencia óptica recibida y la requerida para llegar a un valor específico de BER se define como penalidad de potencia y es equivalente a un incremento de la potencia de transmisión para restablecer el BER back to back o a decrementar las pérdidas del trayecto. Está técnica es también conveniente para estimar los incrementos del BER en el tiempo de vida del sistema, donde muchas de las degradaciones comunes, como es la reducción de la potencia del transmisor y el incremento de las pérdidas del trayecto debido a los cortes de fibra, reducirían la potencia de recepción. El valor de esta técnica no es efectiva en los sistemas multicanales o que estén amplificadas ópticamente, ya que muchas degradaciones no reducen la potencia en el receptor, sino más bien, reducen la relación señal a ruido (SNR). Además, al incrementar la potencia de transmisión o reduciendo las pérdidas del trayecto por el valor de la penalidad de potencia no restaurará el valor del BER. En realidad, incrementar la potencia del transmisor puede actualmente degradar el desempeño del sistema si los efectos no lineales están presentes.

3.4.1.- Penalización de Potencia Debido a la Dispersión.

La dispersión causa ISI (Interferencia Intersimbólica) a través del ensanchamiento del pulso, y la ISI comienza a ser un problema cuando el ensanchamiento del pulso llega al 25% de la tasa de bit. Por encima del 25% será necesario

compensar adicionando una penalidad de potencia en el presupuesto de potencia. Cuando el pulso esta ensanchado severamente, se requiere implementar una compensación de dispersión o regeneración. Parte de la reducción efectiva de la sensibilidad del receptor a una tasa de bits dada puede ser calculada usando la ecuación de la penalidad de potencia debida a la dispersión.

3.4.1.1.- Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a la Dispersión Cromática.

El interés del cálculo de la penalidad de potencia por dispersión cromática radica en las diferentes distancias de los tramos, en las tasas de transmisión de 2.5 Gbps y 10 Gbps, y en los dos tipos de fibra (SMF-28 y LEAF).

La máxima penalización por dispersión aceptable es usualmente 2 dB, sin embargo, es posible que un sistema pueda tolerar una mayor penalidad por dispersión si la atenuación óptica es baja. En la siguiente ecuación se define la penalidad de potencia producto de la dispersión cromática:

$$PP_D(dB) = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \left[0.5 \left(\frac{\pi B_R L \sigma_\lambda |D|}{\ln(4)} \right)^2 \right] \right\} \quad (3.14)$$

Donde:

- L es la longitud del trayecto.
- B_R es la velocidad de transmisión de los datos.
 - $B_R = 2.5$ Gbps.
 - $B_R = 10$ Gbps.
- σ_λ es el ancho espectral gaussiano del láser.
 - $\sigma_\lambda = 0.2 \text{ nm} / 6 = 0.033 \text{ nm}$.
- D es el coeficiente de dispersión cromática de la fibra óptica.
 - La fibra LEAF @1550 nm tiene un coeficiente de dispersión $D = 3.67 \text{ ps/mn.Km}$.

- La fibra SMF-28 @1550 nm tiene un coeficiente de dispersión $D = 16.71$ ps/mn.Km.

En las siguientes tablas se resumen los diferentes resultados obtenidos sobre la penalidad de potencia por dispersión cromática para los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

Tabla 3.13

Penalidad de Potencia por la Dispersión Cromática en el Tramo
MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia

	SMF-28			LEAF		
	$\sigma_{cromática}$	$PP_D @ 2.5$ Gbps	$PP_D @ 10$ Gbps	$\sigma_{cromática}$	$PP_D @ 2.5$ Gbps	$PP_D @ 10$ Gbps
L₁ = 142 km	78.25 ps	0.40 dB	4.10 dB	17.19 ps	0.02 dB	0.31 dB
L₂ = 49 km	27 ps	0.05 dB	0.74 dB	5.93 ps	0.0024 dB	0.039 dB
L₃ = 191 km	105.26 ps	0.71 dB	5.84 dB	23.13 ps	0.03 dB	0.55 dB

Tabla 3.14

Penalidad de Potencia por la Dispersión Cromática en el Tramo
MTSO Valencia – Puerto Cabello – san Felipe – MTSO Barquisimeto

	LEAF		
	$\sigma_{cromática}$	$PP_D @ 2.5$ Gbps	$PP_D @ 10$ Gbps
L₄ = 65 km	7.87 ps	0.004 dB	0.068 dB
L₅ = 94 km	11.38 ps	0.009 dB	0.142 dB
L₆ = 70.5 km	8.53 ps	0.005 dB	0.08 dB
L₇ = 229.5 km	27.79 ps	0.053 dB	0.785 dB
L₈ = 159 km	19.25 ps	0.025 dB	0.39 dB
L₉ = 164.5 km	19.92 ps	0.027 dB	0.42 dB

Tabla 3.15

Penalidad de Potencia por la Dispersión Cromática en el Tramo
 MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado –
 Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo

	LEAF		
	$\sigma_{cromática}$	$PP_D @ 2.5 \text{ Gbps}$	$PP_D @ 10 \text{ Gbps}$
L₁₀ = 67 km	8.11 ps	0.004 dB	0.072 dB
L₁₁ = 66 km	7.99 ps	0.004 dB	0.07 dB
L₁₂ = 223 km	27 ps	0.05 dB	0.745 dB
L₁₃ = 133 km	16.1 ps	0.018 dB	0.208 dB

3.4.1.2.- Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a la Dispersión por el Modo de Polarización (PMD).

Para que un enlace de fibra óptica no incurra en alguna penalidad de potencia debido a la PMD, el valor de la PMD debe cumplir con las siguientes condiciones:

$$\sigma_{PMD} \leq \frac{T_{bit}}{10} \Rightarrow \sigma_{PMD}^2 \leq \frac{1}{100B_R^2} \quad (3.15)$$

$$L \leq \frac{1}{100B_R^2 D_{PMD}^2} \quad (3.16)$$

Donde:

- B_R es la velocidad de transmisión del enlace óptico.
- T_{bit} es el tiempo de bit y es equivalente al inverso del B_R .

De igual modo, en la siguiente gráfica se muestra la penalidad de potencia que tendría un sistema para diferentes velocidades de transmisión.

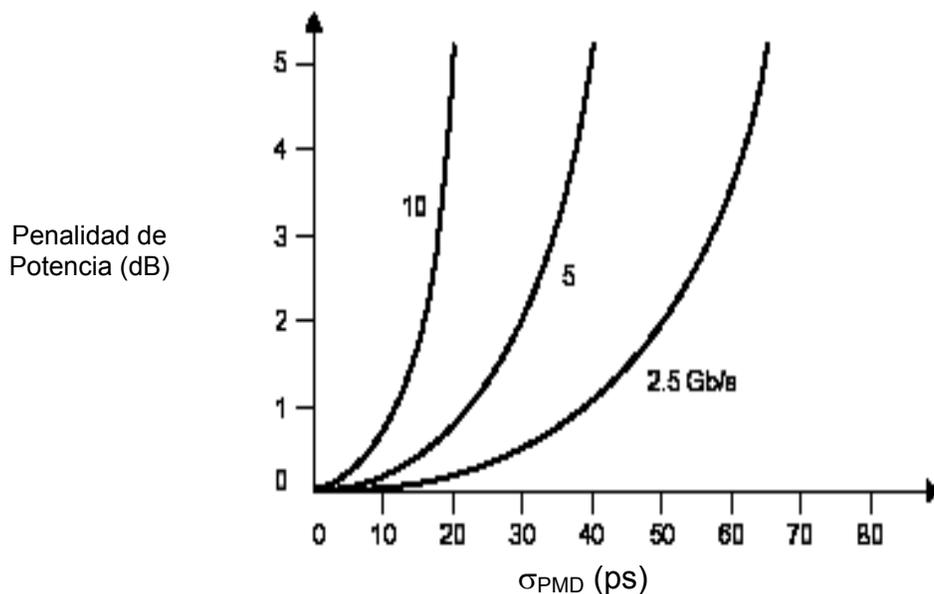


Figura 3.5 Penalidad de potencia generada por la PMD para diferentes velocidades de transmisión.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en el cálculo del σ_{PMD} en los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales– Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo, así como también, los Tbit/10 para 2.5 Gbps y 10 Gbps, de manera de poder apreciar si existe alguna penalidad de potencia.

Tabla 3.16

Comparación de la PMD con el Tbit/10 en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia

	SMF-28			LEAF		
	σ_{PMD}	$T_{bit}/10 @ 2.5Gbps$	$T_{bit}/10 @ 10Gbps$	σ_{PMD}	$T_{bit}/10 @ 2.5Gbps$	$T_{bit}/10 @ 10Gbps$
L₁ = 142 km	1.19 ps	40 ps	10 ps	0.47 ps	40 ps	10 ps
L₂ = 49 km	0.7 ps	40 ps	10 ps	0.28 ps	40 ps	10 ps
L₃ = 191 km	1.38 ps	40 ps	10 ps	0.55 ps	40 ps	10 ps

Tabla 3.17

Comparación de la PMD con el Tbit/10 en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

	LEAF		
	σ_{PMD}	$T_{bit/10}$ @ 2.5Gbps	$T_{bit/10}$ @ 10Gbps
L₄ = 65 km	0.32 ps	40 ps	10 ps
L₅ = 94 km	0.38 ps	40 ps	10 ps
L₆ = 70.5 km	0.33 ps	40 ps	10 ps
L₇ = 229.5 km	0.60 ps	40 ps	10 ps
L₈ = 159 km	0.50 ps	40 ps	10 ps
L₉ = 164.5 km	0.50 ps	40 ps	10 ps

Tabla 3.18

Comparación de la PMD con el Tbit/10 en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo

	LEAF		
	σ_{PMD}	$T_{bit/10}$ @ 2.5Gbps	$T_{bit/10}$ @ 10Gbps
L₁₀ = 67 km	0.32 ps	40 ps	10 ps
L₁₁ = 66 km	0.32 ps	40 ps	10 ps
L₁₂ = 223 km	0.59 ps	40 ps	10 ps
L₁₃ = 133 km	0.46 ps	40 ps	10 ps

Al observar las tablas anteriores y la figura 3.5, se puede determinar que la penalidad de potencia generada por la PMD puede ser considerada como despreciable para los diferentes de tramos, ya que la distancia del enlace no es lo suficientemente grande para que la σ_{PMD} sea significativa frente al $T_{bit/10}$.

3.4.2.- Penalidad de Potencia debida al Efecto Chirp.

Adicionalmente a la complicación que produce la dispersión cromática, se tiene el efecto chirp, el cual se genera cuando el láser es encendido creando un ligero desplazamiento en la longitud de onda, adicionando una modulación en frecuencia a la señal. El chirp en cierta forma hace que el láser ensanche su ancho de línea óptica. El efecto en la transmisión es más significativo en los 1550 nm usando fibra del tipo monomodo estándar debido a su alto coeficiente de dispersión cromática. Teóricamente, el chirp induce una penalidad de potencia que es difícil de calcular, pero puede ser aproximada a un margen de 0.5 dB en el diseño del sistema.

Los láseres que son modulados externamente eliminan cualquier efecto del chirp. Un modulador externo es utilizado para encender y apagar el láser, es decir, actúa como un disparador electrónico. Los moduladores externos están disponibles para aplicaciones analógicas y digitales y son capaces de manejar tasas de bits de 40 Gbps y anchos de banda analógicos de más de 20 GHz, pero son susceptibles a la dispersión estimulada de Brillouin.

3.4.3.- Penalidad de Potencia debido al Radio de Extinción No Ideal del Transmisor.

El radio de extinción del transmisor es la relación de la potencia de salida mientras envía el bit 1 y la potencia mientras envía el bit 0. Idealmente, el bit 1 es representado por el doble de la potencia promedio y el bit 0 es representado por una potencia cero, y el radio de extinción sería infinito. Prácticamente el nivel 0, no es cero, aunque la relación es típicamente de 10 a 20. En sistemas amplificadas la penalidad de potencia para el radio de extinción de una señal independiente es:

$$PP_{RE} = -10 \log \left[\frac{(r-1)\sqrt{r+1}}{(r+1)\sqrt{r-1}} \right] \quad (3.17)$$

Donde:

- r es el radio de extinción del transmisor.

Asumiendo que típicamente el radio de extinción de los transmisores esta en el orden de 10 dB, y al evaluar la ecuación anterior se obtiene:

$$PP_{RE} = 1.85dB$$

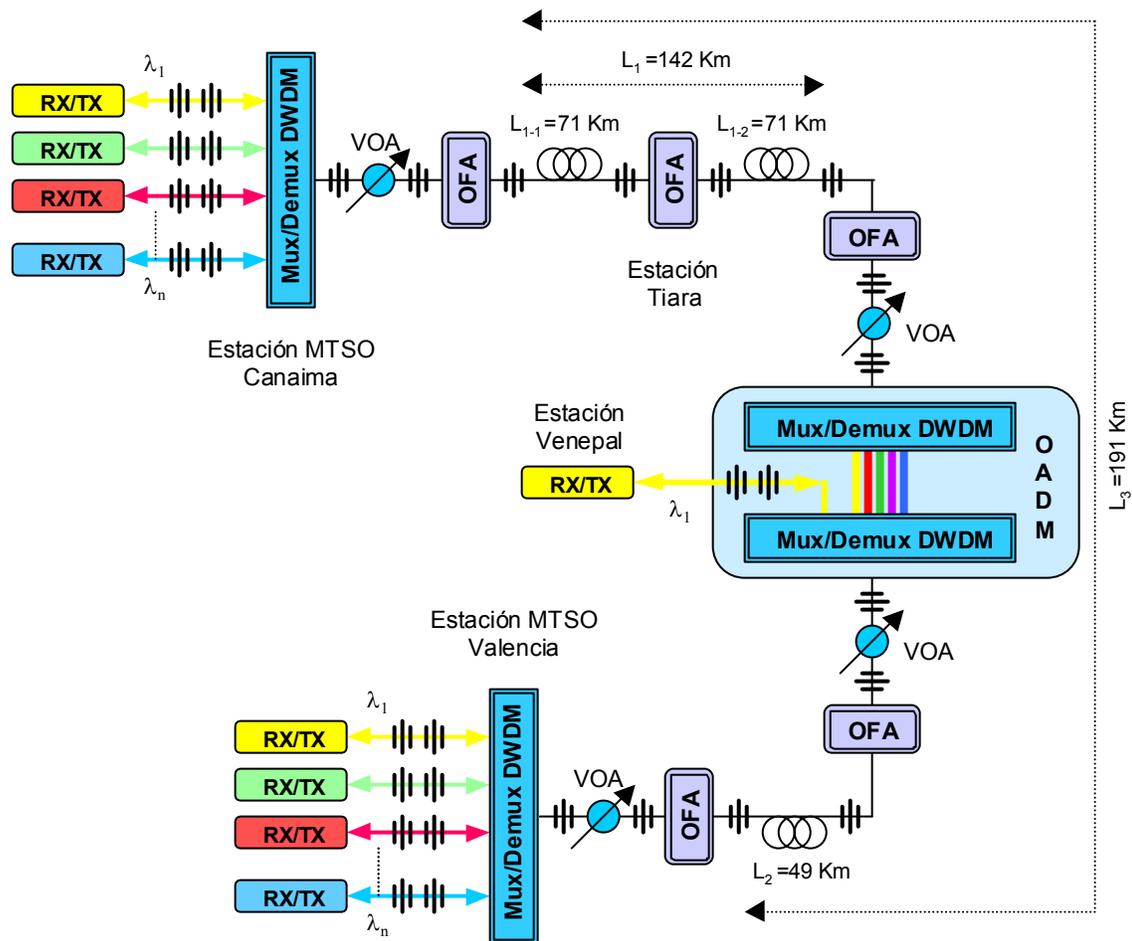
Este valor también es independiente del tipo de fibra óptica que se esté empleando, por lo tanto, es válido tanto para el cálculo del proyecto con la fibra SMF-28, como con la fibra LEAF.

3.4.4.- Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización (PDL).

Parte de las pérdidas que generan los diferentes componentes ópticos en un sistema o enlace óptico tiene dependencia con la polarización de la señal. Entre los componentes ópticos se tienen los conectores, multiplexores, OADM, módulos compensadores de dispersión, amplificadores, receptores, etc. Estas pérdidas dependientes de la polarización son generalmente identificadas en las hojas de especificaciones del fabricante. La suma de estas pérdidas se utiliza como penalidad de potencia.

3.4.4.1.- Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.

En la siguiente figura se pueden visualizar los diferentes dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia, y así determinar las respectivas pérdidas dependientes de la polarización en el tramo.



VOA : Atenuador Optico Variable

OFA : Amplificador de Fibra Optica

Figura 3.6 Dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.

En las siguientes tablas se listan los dispositivos que forman parte del sistema DWDM en el trayecto L_1 , L_2 y L_3 , así como también, sus respectivas pérdidas por polarización (PDL).

Tabla 3.19PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₁ (MTSO Canaima – Venepal)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	8	0.1	1
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	0	0.1	0
Amplificador Optico	3	0.5	1.5
PDL Total (dB)			2.4

Tabla 3.20PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₂ (Venepal – MTSO Valencia)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	10	0.1	1
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			2.32

Tabla 3.21PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₂ (Venepal – MTSO Valencia)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	6	0.1	0.6
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	0	0.1	0
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			1.7

Tabla 3.22

PDL Hasta el Fotorreceptor en el Tramo L₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	18	0.1	1.8
Mux/ Demux Optico	2	0.1	0.2
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	5	0.5	2.5
PDL Total (dB)			4.72

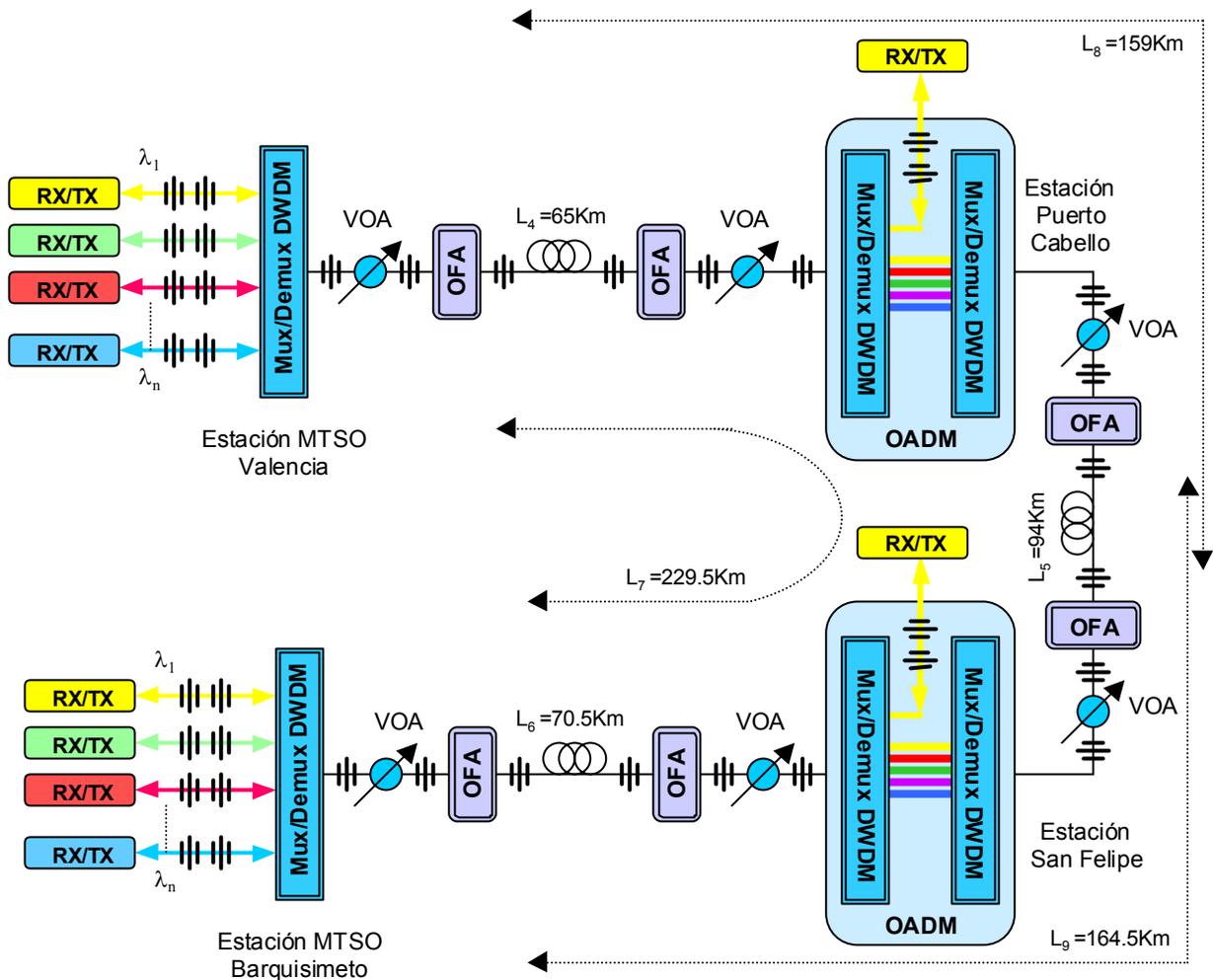
Tabla 3.23

PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₃ (MTSO Canaima – MTSO Valencia)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	14	0.1	1.4
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	5	0.5	2.5
PDL Total (dB)			4.1

3.4.4.2.- Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe- MTSO Barquisimeto.

En la siguiente figura se pueden visualizar los diferentes dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto, y así determinar las respectivas pérdidas dependientes de la polarización en el tramo.



VOA : Atenuador Optico Variable

OFA : Amplificador de Fibra Optica

Figura 3.7 Dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM Implementado en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.

En las siguientes tablas se listan los dispositivos que forman parte del sistema DWDM en el trayecto L₄, L₆, L₇, L₈ y L₉, así como también, sus respectivas pérdidas por polarización (PDL).

Tabla 3.24PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	10	0.1	1
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			2.32

Tabla 3.25PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	6	0.1	0.6
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	0	0.1	0
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			1.7

Tabla 3.26PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₆ (San Felipe – MTSO Barquisimeto)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	10	0.1	1
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			2.32

Tabla 3.27PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₆ (San Felipe – MTSO Barquisimeto)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	6	0.1	0.6
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	0	0.1	0
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			1.7

Tabla 3.28PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₇ (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	22	0.1	2.2
Mux/ Demux Optico	2	0.1	0.2
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	2	0.1	0.2
Amplificador Optico	6	0.5	3
PDL Total (dB)			5.72

Tabla 3.29PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₇ (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	18	0.1	1.8
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	2	0.1	0.2
Amplificador Optico	6	0.5	3
PDL Total (dB)			5.1

Tabla 3.30PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₈ (MTSO Valencia – San Felipe)

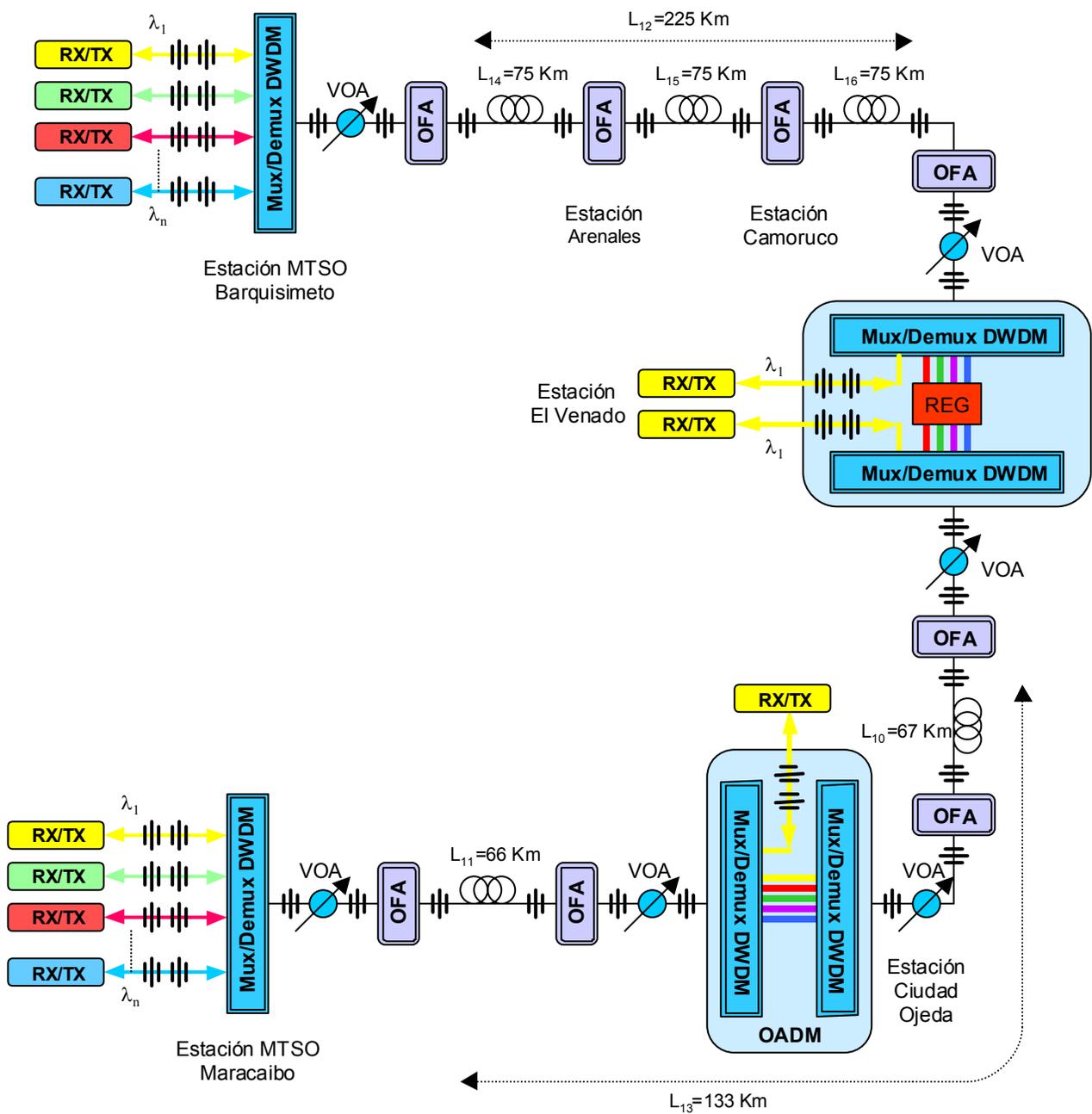
	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	12	0.1	1.2
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	4	0.5	2
PDL Total (dB)			3.4

Tabla 3.31PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₉ (MTSO Barquisimeto - Puerto Cabello)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	12	0.1	1.2
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	4	0.5	2
PDL Total (dB)			3.4

3.4.4.3.-Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido a las Pérdidas Dependientes de la Polarización para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

En la siguiente figura se pueden visualizar los diferentes dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo, y así determinar las respectivas pérdidas dependientes de la polarización en el tramo.



VOA : Atenuador Optico Variable

OFA : Amplificador de Fibra Optica

Figura 3.8 Dispositivos activos y pasivos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

En las siguientes tablas se listan los dispositivos que forman parte del sistema DWDM en el trayecto L₁₁, L₁₂, y L₁₃, así como también, sus respectivas pérdidas por polarización (PDL).

Tabla 3.32

PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₁₁
(MTSO Maracaibo - Ciudad Ojeda)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	10	0.1	1
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	2	0.5	1
PDL Total (dB)			2.32

Tabla 3.33

PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₁₁
(MTSO Maracaibo - Ciudad Ojeda)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	6	0.1	0.6
Mux/ Demux Optico	0	0.1	0
Receptor	0	0.12	0
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	2	0.5	1.7
PDL Total (dB)			1.7

Tabla 3.34PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₁₂ (MTSO Barquisimeto – El Venado)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	14	0.1	1.4
Mux/ Demux Optico	2	0.1	0.2
Receptor	0	0.12	0.12
OADM	0	0.1	0
Amplificador Optico	4	0.5	2
PDL Total (dB)			3.72

Tabla 3.35PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₁₂ (MTSO Barquisimeto – El Venado)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	10	0.1	1
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	0	0.1	0
Amplificador Optico	4	0.5	2
PDL Total (dB)			3.1

Tabla 3.36PDL Hasta el Fotoreceptor en el Tramo L₁₃ (MTSO Maracaibo - El Venado)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	16	0.1	1.6
Mux/ Demux Optico	2	0.1	0.2
Receptor	1	0.12	0.12
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	4	0.5	2
PDL Total (dB)			4.02

Tabla 3.37PDL Hasta el Preamplificador en el Tramo L₁₃ (MTSO Maracaibo - El Venado)

	Nº de Unidades	PDL/Unidad (dB)	PDL Subtotal (dB)
Conectores	12	0.1	1.2
Mux/ Demux Optico	1	0.1	0.1
Receptor	0	0.12	0
OADM	1	0.1	0.1
Amplificador Optico	4	0.5	2
PDL Total (dB)			3.4

3.4.5.- Penalidad de Potencia Debido al Crosstalk.

El crosstalk entre canales puede ocurrir dentro de los dispositivos del sistema como filtros, acopladores, conmutadores o multiplexores. El crosstalk también puede ocurrir dentro de la fibra a través de los efectos no lineales, los cuales son tratados más adelante. Dos tipos de crosstalk ocurren en los dispositivos del sistema:

- El crosstalk intercanal proviene de la interferencia de canales que están fuera del ancho de banda eléctrico del receptor.
- El crosstalk intracanal proviene de los canales que están dentro del ancho de banda eléctrico del receptor.

El crosstalk intercanal es mucho mayor que el crosstalk intracanal en muchos sistemas y en vista de que el crosstalk intercanal es más relevante en dispositivos como los mux/demux y OADM, en este proyecto solo se analizará el efecto del crosstalk intercanal y se considerará despreciable el efecto del crosstalk intracanal.

La penalidad de potencia debido al crosstalk intracanal e intercanal se definen en las siguientes ecuaciones.

- Penalidad de potencia debido al crosstalk intercanal:

$$PP_{Xtalk-inter} = -5 \log \left(1 - 2\sqrt{\varepsilon_{TOTAL}} \right) \quad (3.18)$$

- Penalidad de potencia debido al crosstalk intracanal:

$$PP_{Xtalk-intra} = -5 \log \left(1 - \varepsilon_{TOTAL} \right) \quad (3.19)$$

Donde:

- ε representa la relación entre la potencia del crosstalk transmitido y la potencia promedio del canal, cuyo valor se determina a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\varepsilon(dB) = 10 \log \left(\frac{P_{crosstalk}}{P_{in}} \right) = P_{crosstalk} (dBm) - P_{in} (dBm) \quad (3.20)$$

$$P_{crosstalk} (dBm) \approx P_{IN} (dBm) - \text{Aislamiento de canal} (dB) \quad (3.21)$$

3.4.5.1.- Cálculo de la Penalidad de Potencia Debido al Crosstalk Intercanal.

El aislamiento típico de los mux/demux en los canales adyacentes es >25 dB, y en los canales no adyacentes es >45 dB. Si la potencia promedio del canal en los mux/demux es de 0 dBm se tiene el siguiente desarrollo.

- **Contribución de los canales adyacentes.**

Tomando como referencia al canal 2, y un aislamiento de canal de 25 dB, se realizan los siguientes cálculos:

$$P_{crosstalk}(dBm) \approx 0dBm - 25dB = -25dBm$$

$$\varepsilon = -25dBm - 0dBm = -25dB \Rightarrow \varepsilon = 3.1622 \cdot 10^{-3}$$

- En la contribución del canal 1 sobre el canal 2, se tiene que:

$$\sqrt{\varepsilon_{1 \rightarrow 2}} = \sqrt{3.1622 \cdot 10^{-3}} = 0.056$$

- En la contribución del canal 3 sobre el canal 2, se tiene que:

$$\sqrt{\varepsilon_{3 \rightarrow 2}} = \sqrt{3.1622 \cdot 10^{-3}} = 0.056$$

- La contribución total de los canales adyacentes es:

$$\sqrt{\varepsilon_{adyacente}} = 2 \times (0.056) = 0.112$$

- **Contribución de los canales no adyacentes.**

Tomando como referencia al canal 2, y un aislamiento de canal de 45 dB, se realizan los siguientes cálculos:

$$P_{crosstalk}(dBm) \approx 0dBm - 45dB = -45dBm$$

$$\varepsilon = -45dBm - 0dBm = -45dB \Rightarrow \varepsilon = 3.1622 \cdot 10^{-5}$$

- En la contribución del canal 4 sobre el canal 2, se tiene que:

$$\sqrt{\varepsilon_{4 \rightarrow 2}} = \sqrt{3.1622 \cdot 10^{-5}} = 5.62 \cdot 10^{-3}$$

- En la contribución de los N restantes canales no adyacentes, se tiene:

- Para $N=4$

$$\sum_{i=4}^4 \sqrt{\mathcal{E}_{i (No-Adyacente)}} = 1(5.6234 \cdot 10^{-3}) = 5.62 \cdot 10^{-3}$$

- Para $N=8$

$$\sum_{i=4}^8 \sqrt{\mathcal{E}_{i (No-Adyacente)}} = 5(5.6234 \cdot 10^{-3}) = 0.028$$

- Para $N=16$

$$\sum_{i=4}^{16} \sqrt{\mathcal{E}_{i (No-Adyacente)}} = 13(5.6234 \cdot 10^{-3}) = 0.073$$

- Para $N=32$

$$\sum_{i=4}^{32} \sqrt{\mathcal{E}_{i (No-Adyacente)}} = 29(5.6234 \cdot 10^{-3}) = 0.16$$

La contribución de los canales adyacentes y no adyacentes se define a partir de la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\mathcal{E}_{TOTAL}} = \sqrt{\mathcal{E}_{Adyacente}} + \sum_{i=1}^n \sqrt{\mathcal{E}_{i (No-Adyacente)}} \quad (3.22)$$

- Para $N=4$

$$\sqrt{\varepsilon_{TOTAL}} = 0.112 + 5.62 \cdot 10^{-3} = 0.117$$

- Para $N=8$

$$\sqrt{\varepsilon_{TOTAL}} = 0.112 + 0.028 = 0.14$$

- Para $N=16$

$$\sqrt{\varepsilon_{TOTAL}} = 0.112 + 0.073 = 0.185$$

- Para $N=32$

$$\sqrt{\varepsilon_{TOTAL}} = 0.112 + 0.16 = 0.272$$

donde finalmente la penalidad de potencia debido al crosstalk con N canales es:

$$PP_{Xtalk-inter} = -5 \log\left(1 - 2\sqrt{\varepsilon_{TOTAL}}\right)$$

- Para $N=4$

$$PP_{Xtalk-inter} = -5 \log[1 - 2(0.117)] = 0.57dB$$

- Para $N=8$

$$PP_{Xtalk-inter} = -5 \log[1 - 2(0.14)] = 0.71dB$$

- Para $N=16$

$$PP_{Xtalk-inter} = -5 \log[1 - 2(0.185)] = 1dB$$

- Para $N=32$

$$PP_{Xtalk-inter} = -5 \log[1 - 2(0.272)] = 1.7dB$$

La penalidad de potencia proporcionada por el crosstalk a nivel del multiplexor y el demultiplexor es la misma para los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo, ya que los canales que forman parte de estos tramos son multiplexados y demultiplexados una sola vez, por lo tanto, la penalidad de potencia del tramo será la suma de lo que proporciona el multiplexor y el demultiplexor. En la siguiente tabla se indican las penalidades resultantes para los tres tramos.

Tabla 3.38

Penalidad de Potencia por el Crosstalk en el Mux/Demux para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia

	N=4	N=8	N=16	N=32
$PP_{Xtalk-inter}$ en L_1 (dB)	0.57	0.71	1	1.7
$PP_{Xtalk-inter}$ en L_2 (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L_3 (dB)	1.14	1.42	2	3.4

Tabla 3.39

Penalidad de Potencia por el Crosstalk en el Mux/Demux para el Tramo
MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

	N=4	N=8	N=16	N=32
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₄ (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₆ (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₇ (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₈ (dB)	0.57	0.71	1	1.7
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₉ (dB)	0.57	0.71	1	1.7

Tabla 3.40

Penalidad de Potencia por el Crosstalk en el Mux/Demux para
el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco –
El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo

	N=4	N=8	N=16	N=32
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₁₀ (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₁₁ (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₁₂ (dB)	1.14	1.42	2	3.4
$PP_{Xtalk-inter}$ en L₁₃ (dB)	1.14	1.42	2	3.4

3.4.6.- Penalidades de Potencia Debidas a los Efectos No Lineales.

Los efectos no lineales se producen en todos los dieléctricos cuando existen potencias ópticas suficientemente grandes (campos electromagnéticos muy intensos) propagándose por ellos. Debido a que el SiO₂ es un material con baja no-linealidad, hasta hace poco relativamente representaban efectos de segundo orden como la PMD. Pero con la aparición de los amplificadores ópticos, que introducen fuertes potencias luminosas en los pequeños núcleos de las fibras, y la

utilización de nuevas multiplexaciones en longitud de onda (WDM), los efectos no lineales en las fibras ópticas son cada vez más importantes. Los efectos no lineales influyen en la capacidad de transmisión de los sistemas de comunicaciones ópticas a través de dos efectos básicos:

- Efectos Dispersivos:
 - Dispersión Estimulada de Raman.
 - Dispersión Estimulada de Brillouin.

- Efecto Kerr:
 - Four Wave Mixing (FWM).
 - Automodulación de Fase (SPM).
 - Modulación de Fase Cruzada (XPM).

La atenuación de la fibra disminuirá la potencia en la medida que la señal se desplaza a lo largo de la fibra, y por ende los efectos no lineales se manifiestan sobre la longitud efectiva de la fibra (L_{eff}), la cual es definida en la siguiente ecuación:

$$L_{eff} = \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} \quad (3.23)$$

$$\alpha = \frac{A}{10 \log e} \quad (3.24)$$

Donde α es la atenuación constante de la fibra dada en (1/Km), A es la máxima atenuación de la fibra y L es la longitud de la fibra óptica. En la siguiente tabla se especifica la máxima atenuación que tienen las fibras SMF-28 y LEAF.

Tabla 3.41

Atenuación de las Fibras Monomodo SMF-28 y LEAF

	SMF-28	LEAF
λ (nm)	Atenuación (dB/km)	Atenuación (dB/km)
1310	≤ 0.35	-----
1550	≤ 0.25	≤ 0.25

Como en este proyecto el sistema DWDM opera en la banda C, se toma como longitud de onda de referencia a 1550 nm, por lo tanto, el valor de la máxima atenuación tanto para la fibra LEAF como SMF-28 es $A=0.25$ dB/Km.

A continuación se procede a calcular la atenuación constante de la fibra y la longitud efectiva para los diferentes tramos con fibra LEAF y SMF-28.

- **Cálculo de la Atenuación Constante de la Fibra Optica LEAF y SMF-28.**

$$\alpha = \frac{0.25 \text{ dB/km}}{10 \log e} = 0.057 / \text{km}$$

- **Cálculo de la L_{eff} para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.**

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la longitud efectiva para los tramos L_1 , L_2 y L_3 .

Tabla 3.42

Longitud Efectiva en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia

	SMF-28	LEAF
	L_{EFF}	L_{EFF}
$L_1 = 142$ km	17.53 Km	17.53 Km

Tabla 3.42 (continuación)

	SMF-28	LEAF
	L_{EFF}	L_{EFF}
L₂ = 49 km	16.46 Km	16.46 Km
L₃ = 191 km	17.54 Km	17.54 Km

En los resultados anteriores se puede apreciar que la longitud efectiva de los tramos de larga distancia como L₁ y L₃ es casi la misma y en el tramo de corta distancia L₂ la longitud efectiva es menor, en consecuencia se asume para fines prácticos que la longitud efectiva para los diferentes tramos es la siguiente:

- Para L₁ y L₃ la $L_{eff} = 17.53$ Km.
- Para L₂ la $L_{eff} = 16.46$ Km.
- **Cálculo de la L_{eff} para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.**

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la longitud efectiva para los tramos L₄, L₅, L₆, L₇, L₈ y L₉.

Tabla 3.43

Longitud Efectiva en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

LEAF	
	L_{EFF}
L₄ = 65 km	17.11 Km
L₅ = 94 km	17.46 Km
L₆ = 70.5 km	17.22 Km
L₇ = 229.5 km	17.54 Km
L₈ = 159 km	17.54 Km
L₉ = 164.5km	17.54 Km

En los resultados anteriores se puede apreciar que la longitud efectiva de los tramos de larga distancia como L_5 , L_7 , L_8 y L_9 es casi la misma y en los tramos de corta distancia L_4 y L_6 la longitud efectiva es menor y también son muy cercanas, en consecuencia se asume para fines prácticos que la longitud efectiva para los diferentes tramos es la siguiente:

- Para L_4 y L_6 la $L_{eff} = 17.11$ Km.
 - Para L_5 , L_7 , L_8 y L_9 la $L_{eff} = 17.46$ Km.
- **Cálculo de la L_{eff} para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.**

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en el cálculo de la longitud efectiva para los tramos L_{10} , L_{11} , L_{12} y L_{13} .

Tabla 3.44

Longitud Efectiva en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo

LEAF	
	L_{EFF}
$L_{10} = 67$ km	17.15 Km
$L_{11} = 66$ km	17.13 Km
$L_{12} = 223$ km	17.54 Km
$L_{13} = 133$ km	17.53 Km

En los resultados anteriores se puede apreciar que la longitud efectiva de los tramos de larga distancia como L_{12} , y L_{13} es casi la misma y en los tramos de corta distancia L_{10} y L_{11} la longitud efectiva es menor y también son muy cercanas, en consecuencia se asume para fines prácticos que la longitud efectiva para los diferentes tramos es la siguiente:

- Para L₁₂ y L₁₃ la $L_{eff} = 17.50$ Km.
- Para L₁₀ y L₁₁ la $L_{eff} = 17.13$ Km.

- **Definición del Area Efectiva de la Fibra Optica LEAF y SMF-28.**

En cuanto al área efectiva de la fibra, está puede venir especificada en la hoja de datos dada por el fabricante o puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{eff} \approx \pi \left(\frac{MFD}{2} \right)^2 \quad (3.25)$$

Donde:

- MFD es el diámetro del campo modal.

El área efectiva para las fibras SMF-28 y LEAF es indicada en la siguiente tabla.

Tabla 3.45

Area Efectiva de las Fibras SMF-28 y LEAF

Tipo De Fibra	$A_{EFF} (\mu\text{m}^2)$
SMF-28	86
LEAF	72

3.4.6.1.- Penalidad de Potencia Debida a la Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS).

La SBS ocurre cuando la potencia óptica en la fibra llega a un umbral que va a generar diminutas vibraciones acústicas en el silicio, lo cual causa una dispersión de la luz en la dirección contrapropagante. Los láseres que tienen un ancho de línea estrecho son los que pueden estimular el efecto de la SBS. El ancho de

banda de la SBS es típicamente de 20 a 100 MHz con una longitud de onda de 1550 nm, y la longitud de onda de la luz difundida es muy cercana a la que se origina (típicamente desplazada 20 GHz). Para calcular la potencia de umbral a la cual se puede generar el efecto SBS se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} \left(1 + \frac{\Delta\nu_{Fuente}}{\Delta\nu_{SBS}} \right) \quad (3.26)$$

Donde:

- $\Delta\nu_{Fuente}$ es el ancho de la línea del láser.
- $\Delta\nu_{SBS}$ es el ancho de la línea de Brillouin (20 MHz típicamente).
- g_B es el coeficiente de ganancia de Brillouin en la fibra (típicamente $4 \cdot 10^{-11}$ m/W).

Para el cálculo del $P_{TH}(SBS)$ se asume un $\Delta\nu_{Fuente} = \Delta\nu_{SBS}$, lo cual sería una posible condición para un láser modulado externamente y que además sirve de referencia para el peor de los casos, ya que el láser empleado en este proyecto es de modulación directa. A continuación se procede realizar el cálculo de $P_{TH}(SBS)$.

3.4.6.1.1.- Cálculo del $P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del $P_{TH}(SBS)$ se tienen los siguientes datos:

- Para L_1 y L_3 la $L_{eff} = 17.53$ Km.
- Para L_2 la $L_{eff} = 16.46$ Km.
- Para la fibra SMF-28 el $A_{eff} = 86 \mu\text{m}^2$.
- Para la fibra LEAF el $A_{eff} = 72 \mu\text{m}^2$.

- $P_{TH}(SBS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra SMF-28:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(86\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(17.53km)} = 5.15mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 7.11dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(86\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(16.46km)} = 5.48mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 7.38dBm$$

- $P_{TH}(SBS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra LEAF:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(72\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(17.53km)} = 4.31mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 6.34dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(72\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(16.46km)} = 4.59mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 6.62dBm$$

3.4.6.1.2.- Cálculo del $P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del $P_{TH}(SBS)$ se tienen los siguientes datos:

- Para L_4 y L_6 la $L_{eff} = 17.11$ Km.
- Para L_5, L_7, L_8 y L_9 la $L_{eff} = 17.46$ Km.
- Para la fibra LEAF el $A_{eff} = 72 \mu m^2$.
- **$P_{TH}(SBS)$ para los tramos L_4, L_5, L_6, L_7, L_8 y L_9 :**
 - Para L_4 y L_6 :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(72\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(17.11km)} = 4.41mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 6.45dBm$$

- Para L_5, L_7, L_8 y L_9 :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(72\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(17.46km)} = 4.32mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 6.36dBm$$

3.4.6.1.3.- Cálculo del $P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales - Camoruco - El Venado - Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del $P_{TH}(SBS)$ se tienen los siguientes datos:

- Para L_{12} y L_{13} la $L_{eff} = 17.50$ Km.
- Para L_{10} y L_{11} la $L_{eff} = 17.13$ Km.
- Para la fibra LEAF el $A_{eff} = 72 \mu m^2$.
- **$P_{TH}(SBS)$ para los tramos L_{10} , L_{11} , L_{12} y L_{13} :**
 - Para L_{12} y L_{13} :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(72\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(17.5km)} = 4.32mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 6.35dBm$$

- Para L_{10} y L_{11} :

$$P_{TH}(SBS) = \frac{21A_{eff}}{g_B L_{eff}} (2) = \frac{42A_{eff}}{g_B L_{eff}} = \frac{42(72\mu m^2)}{(4.10^{-11} m/W)(17.13km)} = 4.41mW$$

$$P_{TH}(SBS) = 6.44dBm$$

3.4.6.1.4.- Resumen de los Resultados Obtenidos sobre la $P_{TH}(SBS)$.

En las siguientes tablas se resumen los valores obtenidos para la $P_{TH}(SBS)$ en los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Tabla 3.46

$P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Canaima –
Tiara - Venepal - MTSO Valencia

		$P_{TH}(SBS)$
SMF-28	L₁	5.15 mW
	L₂	5.48 mW
	L₃	5.15 mW
LEAF	L₁	4.31 mW
	L₂	4.59 mW
	L₃	4.31 mW

Tabla 3.47

$P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello –
San Felipe – MTSO Barquisimeto

		$P_{TH}(SBS)$
LEAF	L₄	4.41 mW
	L₅	4.32 mW
	L₆	4.41 mW
	L₇	4.32 mW
	L₈	4.32 mW
	L₉	4.32 mW

Tabla 3.48

$P_{TH}(SBS)$ en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales –
Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo

		$P_{TH}(SBS)$
	L₁₀	4.41 mW
	L₁₁	4.41 mW
	L₁₂	4.32 mW
	L₁₃	4.32 mW

Para un láser modulado externamente el umbral de la SBS es menor de 5-10 mW y para un láser modulado directamente el umbral SBS es menor de 20-30 mW. Como se puede observar en las tablas anteriores la $P_{TH}(SBS)$ más baja que se obtuvo en los diferentes tramos para un láser de modulación externa es de 4.31 mW, la cual aún está por encima de la potencia promedio de un canal DWDM del sistema (4 mW) que emplea un láser de modulación directa.

Otro detalle importante es que los láseres que son modulados directamente generan el efecto chirp, el cual tiende a aumentar el ancho de banda del láser, así como también, el hecho de transmitir altas tasa de bits, lo cual al final se traduce en un incremento adicional del umbral SBS.

Por todo lo antes expuesto, se llega a la conclusión que la penalidad de potencia producto de la dispersión estimulada de Brillouin para los diferentes tramos es despreciable y por ende, no tendrá ningún efecto sobre el OSNR del enlace.

3.4.6.2.- Penalidad de Potencia Debida a la Dispersión Estimulada de Raman (SRS).

La dispersión de Raman se refiere a la interacción que sufren las ondas ópticas con las vibraciones moleculares del material. Las ondas incidentes se dispersan al chocar con las moléculas y experimentan una reducción de su frecuencia óptica. Este desplazamiento de frecuencia coincide precisamente con la frecuencia de vibración de las moléculas, la cual se denomina frecuencia de Stokes.

La eficiencia del proceso no lineal es directamente proporcional a la potencia de bombeo, la longitud efectiva de la fibra y un coeficiente de ganancia que depende del material, e inversamente proporcional al área efectiva de la fibra. El coeficiente de ganancia de Raman crece de forma aproximadamente lineal hasta una separación entre portadoras de 15 THz. Para una longitud de onda de 1550 nm, el coeficiente de ganancia de Raman posee un valor máximo en torno a los $7 \cdot 10^{-12}$ cm/W.

En un sistema monocanal para generar una dispersión se requiere una potencia de varios centenares de milivatios, en cambio, en un sistema multicanal

los canales de longitudes de onda superiores son amplificados por los canales de longitudes de onda inferiores, por lo que la degradación se produce para potencias ópticas bastante inferiores, donde para unos cuantos canales la potencia decrece en una relación $1/N$ (N es número de canales), pero como las distancias entre los canales en DWDM son muy pequeñas (0.4 nm a 10 nm), la SRS va tener muy poco impacto sobre la calidad de la señal.

La SRS en un sistema multicanal tiene principalmente dos impactos negativos sobre el desempeño del sistema:

- Induce a un crosstalk entre canales por el intercambio de potencia.
- Limita la potencia de transmisión de los canales WDM como consecuencia del vaciado de potencia que puede experimentar un canal de frecuencia mayor para generar ganancia en uno de frecuencia menor.

A continuación se procede a calcular el umbral de potencia SRS ($P_{TH}(SRS)$) para una penalidad de potencia de 0.5 dB (criterio de diseño) en un sistema multicanal para los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

3.4.6.2.1.- Cálculos del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal.

Para calcular la penalidad de potencia por crosstalk que podría generar la SRS a los canales de menor longitud de onda se tiene la siguiente ecuación:

$$PP_{SRS} = -10\log(1 - P_0) \quad (3.27)$$

Donde P_0 es la fracción de potencia acoplada desde el canal 0 a todos los otros canales.

Para una penalidad de potencia de 0.5 dB ($P_0 < 0.1$), y para una fibra del tipo LEAF o NZ-DSF, la siguiente ecuación permite obtener la respectiva $P_{TH}(SRS)$ para un sistema multicanal:

$$NP_{TH}(SRS)(N-1)\Delta\lambda_s L_{eff} < 40000mW.nm.km \quad (3.28)$$

Como la dispersión contenida en la fibra SMF-28 o monomodo estándar es lo suficientemente grande comparada con la de la fibra NZ-DSF para reducir el efecto de la SRS por un factor de dos, entonces el $P_{TH}(SRS)$ que permite alcanzar una penalidad de potencia de 0.5 dB ($P_0 < 0.1$) para una fibra del tipo SMF-28 se puede definir como la siguiente ecuación:

$$NP_{TH}(SRS)(N-1)\Delta\lambda_s L_{eff} < 80000mW.nm.km \quad (3.29)$$

Donde:

- N es el número de canales.
- $P_{TH}(SRS)$ es la potencia de umbral de la SRS.
- $\Delta\lambda_s$ es el espaciado entre canales (nm).

3.4.6.2.1.1.- Cálculo del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del $P_{TH}(SRS)$ se tienen los siguientes datos:

- Para L_1 y L_3 la $L_{eff} = 17.53$ Km.
- Para L_2 la $L_{eff} = 16.46$ Km.
- $\Delta\lambda_s = 0.8$ nm \equiv 100 GHz.

- $P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra LEAF y $N=32$:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(17.53km)(0.8nm)} = 2.87mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 4.58dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(16.46km)(0.8nm)} = 3.06mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 4.86dBm$$

- $P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra LEAF y $N=16$:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(16)(15)(17.53km)(0.8nm)} = 11.88mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 10.74dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(16)(15)(16.46km)(0.8nm)} = 12.65mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 11.02dBm$$

- $P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra LEAF y $N=8$:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(8)(7)(17.53km)(0.8nm)} = 50.93mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 17.07dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(8)(7)(16.46km)(0.8nm)} = 52.24mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 17.34dBm$$

- $P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra SMF-28 y $N=32$:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{80000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(17.53km)(0.8nm)} = 5.75mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 7.59dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{80000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(16.46km)(0.8nm)} = 6.12mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 7.87dBm$$

- $P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra SMF-28 y $N=16$:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{80000mW.nm.km}{(16)(15)(17.53km)(0.8nm)} = 23.76mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 13.76dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{80000mW.nm.km}{(16)(15)(16.46km)(0.8nm)} = 25.31mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 14.03dBm$$

- $P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con una fibra SMF-28 y $N=8$:

- Para L_1 y L_3 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{80000mW.nm.km}{(8)(7)(17.53km)(0.8nm)} = 101.86mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 20.08dBm$$

- Para L_2 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{80000mW.nm.km}{(8)(7)(16.46km)(0.8nm)} = 108.48mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 20.35dBm$$

3.4.6.2.1.2.- Cálculo del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal en el Tramo MTSO Valencia –Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del $P_{TH}(SRS)$ se tienen los siguientes datos:

- Para L_4 y L_6 la $L_{eff} = 17.11$ Km.
- Para L_5, L_7, L_8 y L_9 la $L_{eff} = 17.46$ Km.
- $\Delta\lambda_S = 0.8$ nm \equiv 100 GHz.
- **$P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_4, L_5, L_6, L_7, L_8 y L_9 con $N=32$:**
 - Para L_5, L_7, L_8 y L_9 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(17.46km)(0.8nm)} = 2.88mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 4.6dBm$$

- Para L_4 y L_6 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(17.11km)(0.8nm)} = 2.94mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 4.68dBm$$

- **$P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_4, L_5, L_6, L_7, L_8 y L_9 con $N=16$:**
 - Para L_5, L_7, L_8 y L_9 :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(16)(15)(17.46km)(0.8nm)} = 11.93mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 10.76dBm$$

- Para L₄ y L₆:

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW.nm.km}{(16)(15)(17.11km)(0.8nm)} = 12.17mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 10.85dBm$$

- **$P_{TH}(SRS)$ para los tramos L₄, L₅, L₆, L₇, L₈ y L₉ con N=8:**

- Para L₅, L₇, L₈ y L₉:

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW.nm.km}{(8)(7)(17.46km)(0.8nm)} = 51.13mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 17.08dBm$$

- Para L₄ y L₆:

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW.nm.km}{(8)(7)(17.11km)(0.8nm)} = 52.18mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 17.17dBm$$

3.4.6.2.1.3.- Cálculo del $P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del $P_{TH}(SRS)$ se tienen los siguientes datos:

- Para L_{12} y L_{13} la $L_{eff} = 17.50$ Km.
- Para L_{10} y L_{11} la $L_{eff} = 17.13$ Km.
- $\Delta\lambda_S = 0.8$ nm \equiv 100 GHz.
- **$P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_{10} , L_{11} , L_{12} , y L_{13} con $N=32$:**
 - Para L_{12} y L_{13} :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(17.5km)(0.8nm)} = 2.88mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 4.6dBm$$

- Para L_{10} y L_{11} :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(32)(31)(17.13km)(0.8nm)} = 2.91mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 4.64dBm$$

- **$P_{TH}(SRS)$ para los tramos L_{10} , L_{11} , L_{12} y L_{13} con $N=16$:**
 - Para L_{12} y L_{13} :

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(16)(15)(17.5km)(0.8nm)} = 11.9mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 10.75dBm$$

- Para L₁₀ y L₁₁:

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(16)(15)(17.13km)(0.8nm)} = 12.16mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 10.85dBm$$

- **$P_{TH}(SRS)$ para los tramos L₁₀, L₁₁, L₁₂ y L₁₃ con N=8:**

- Para L₁₂ y L₁₃:

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(8)(7)(17.5km)(0.8nm)} = 51.02mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 17.07dBm$$

- Para L₁₀ y L₁₁:

$$P_{TH}(SRS) < \frac{40000mW \cdot nm \cdot km}{(8)(7)(17.13km)(0.8nm)} = 52.12mW$$

$$P_{TH}(SRS) < 17.17dBm$$

3.4.6.2.2.- Conclusiones sobre el Efecto de la SRS en un Sistema Multicanal.

El $P_{TH}(SRS)$ promedio que se requiere en un sistema monocanal para generar una SRS esta alrededor de 1W, la cual es considerablemente elevada para un enlace de fibra óptica, pero como se observa en las siguientes tablas, este umbral se reduce considerablemente cuando se implementa un sistema WDM en el enlace.

En las siguientes tablas se resumen los diferentes resultados obtenidos del $P_{TH}(SRS)$ de un sistema multicanal implementado en los diferentes tramos, y el

cual en su valor máximo genera una penalidad de potencia por crosstalk de 0.5 dB.

Tabla 3.49

$P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal con Penalidad de Potencia de 0.5 dB en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia

	$P_{TH}(SRS)$ en la SMF-28			$P_{TH}(SRS)$ en la LEAF		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
L₁	101.86 mW	23.76 mW	5.75 mW	50.93 mW	11.88 mW	2.87 mW
L₂	108.48 mW	25.31 mW	6.12 mW	52.24 mW	12.65 mW	3.06 mW
L₃	101.86 mW	23.76 mW	5.75 mW	50.93 mW	11.88 mW	2.87 mW

Tabla 3.50

$P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal con Penalidad de Potencia de 0.5 dB en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

	$P_{TH}(SRS)$ en la LEAF		
	N=8	N=16	N=32
L₄	52.18 mW	12.17 mW	2.94 mW
L₅	51.13 mW	11.93 mW	2.88 mW
L₆	52.18 mW	12.17 mW	2.94 mW
L₇	51.13 mW	11.93 mW	2.88 mW
L₈	51.13 mW	11.93 mW	2.88 mW
L₉	51.13 mW	11.93 mW	2.88 mW

Tabla 3.51

$P_{TH}(SRS)$ para un Sistema Multicanal con Penalidad de Potencia de 0.5 dB en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo

	$P_{TH}(SRS)$ en la LEAF		
	N=8	N=16	N=32
L ₁₀	52.12 mW	12.16 mW	2.91 mW
L ₁₁	52.12 mW	12.16 mW	2.91 mW
L ₁₂	51.02 mW	11.9 mW	2.88 mW
L ₁₃	51.02 mW	11.9 mW	2.88 mW

En un sistema multicanal si el número de canales y la separación entre canales aumentan, la $P_{TH}(SRS)$ va a disminuir y el ancho de banda de la SRS aumenta. Por otro lado, al considerar que la potencia de cada canal en la fibra a la salida del amplificador óptico esta alrededor de los 6 dBm, entonces se generará una penalidad de potencia producto de la SRS de 0.5 dB solamente en el caso de tener un sistema con 32 canales y estar empleando fibra del tipo LEAF para cualquiera de los tramos.

3.4.6.3.- Penalidad de Potencia debida a la Automodulación de Fase (SPM).

La Automodulación de Fase (SPM) es un efecto no lineal que va afectar solamente al canal que lo puede generar, es decir, que no va a depender de la influencia de otros canales o del espaciado entre canales. De igual modo, la SPM llega a constituir un problema tanto para las transmisiones monocanales como multicanales, excepto en las transmisiones soliton y en otros pocos casos específicos. Un aspecto positivo de la SPM es que el ensanchamiento del pulso es producto de una dispersión negativa, la cual puede ser acortada por la dispersión cromática positiva (“régimen de dispersión anómalo”) que puede ofrecer una fibra óptica.

Para definir si existe alguna penalidad de potencia, se requiere calcular el desplazamiento de fase del pulso producto de la SPM, para la cual se tiene la siguiente ecuación.

$$\phi(SPM) = \int_0^L (\beta_{SPM} - \beta) dz = \int_0^L \gamma P(z) dz \Rightarrow \beta_{SPM} = \beta + \gamma P \quad (3.30)$$

$$\phi(SPM) = \gamma P_{in} L_{eff} \quad (3.31)$$

Donde:

- P_{in} es la potencia pico del pulso.
- L_{eff} es la longitud efectiva.
- γ es el coeficiente de propagación no lineal y se estima a partir de la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{2\pi\eta_1}{\lambda A_{eff}} \quad (3.32)$$

En la ecuación anterior hay que destacar que η_1 es el índice de refracción dependiente de la intensidad y que forma parte de la ecuación general del índice de refracción, como se indica a continuación:

$$\eta = \eta_0 + \eta_1 \left(\frac{P_{in}}{A_{eff}} \right) \quad (3.33)$$

El valor típico de η_1 en las fibras de silicio es aproximadamente $3 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$. A continuación se procede al cálculo del coeficiente de propagación no lineal (γ).

- **Cálculo de γ para la fibra SMF-28 @ 1550 nm.**

$$\gamma = \frac{2\pi(3.2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2 / W)}{(1550 \text{ nm})(86 \mu\text{m}^2)} = 1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m}$$

- **Cálculo de γ para la fibra LEAF @ 1550 nm.**

$$\gamma = \frac{2\pi(3.2 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2 / W)}{(1550 \text{ nm})(72 \mu\text{m}^2)} = 1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m}$$

Como se puede apreciar en los resultados anteriores, la fibra SMF-28 es la que posee un menor coeficiente de propagación no lineal, en vista que su área efectiva es mayor, por lo tanto, es la que debe ser menos afectada por los efectos no lineales, pero está es la más afectada por la dispersión cromática.

Una vez que se ha calculado γ , se procede a calcular el desplazamiento de fase para la SPM (ϕ_{SPM}) en las fibras SMF-28 y LEAF, tomando en cuenta que la potencia inyectada en la fibra por cada canal esta alrededor de los 4 mW o 6 dBm.

Existen diversos criterios para determinar en que momento la ϕ_{SPM} llega a ser significativo en el sistema. Entre estos criterios se tienen los siguientes:

- El ϕ_{SPM} no es significativo en un sistema digital con codificación NRZ cuando:

$$\phi_{SPM} \leq \pi/2 \quad (3.34)$$

- Otro criterio más general y conservador para minimizar el efecto del ϕ_{SPM} sobre el sistema es el siguiente:

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} \ll 1 \Rightarrow P_{in} \ll \frac{1}{\gamma L_{eff}} \quad (3.35)$$

A continuación se procede a calcular el ϕ_{SPM} y la máxima potencia entrada para un canal (P_{in}) cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$, en los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

3.4.6.3.1.- Cálculo del ϕ_{SPM} y de la P_{in} en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del ϕ_{SPM} y P_{in} se tienen los siguientes datos:

- Para L_1 y L_3 la $L_{eff} = 17.53$ Km.
- Para L_2 la $L_{eff} = 16.46$ Km.
- $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
- $\gamma = 1.508 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (SMF-28 @ 1550 nm).
- ϕ_{SPM} para L_1 y L_3 con la fibra SMF-28:

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(4mW)(17.53km) = 0.105 \text{ rad} \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_1 y L_3 cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$ con la fibra SMF-28:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff} \gamma} = \frac{\pi / 2}{(17.53km)(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})} = 59.42mW$$

- ϕ_{SPM} para L_2 con la fibra SMF-28:

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(4mW)(16.46km) = 0.098 \text{ rad} \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_2 cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$ con la fibra SMF-28:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff}\gamma} = \frac{\pi/2}{(16.46km)(1.508 \cdot 10^{-3} 1/W.m)} = 63.28mW$$

- ϕ_{SPM} para L_1 y L_3 con la fibra LEAF:

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.80 \cdot 10^{-3} 1/W.m)(4mW)(17.53km) = 0.126 rad \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_1 y L_3 cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$ con la fibra LEAF:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff}\gamma} = \frac{\pi/2}{(17.53km)(1.80 \cdot 10^{-3} 1/W.m)} = 49.78mW$$

- ϕ_{SPM} para L_2 con la fibra LEAF:

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.80 \cdot 10^{-3} 1/W.m)(4mW)(16.46km) = 0.118 rad \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_2 cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$ con la fibra LEAF:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff}\gamma} = \frac{\pi/2}{(16.46km)(1.80 \cdot 10^{-3} 1/W.m)} = 53.01mW$$

3.4.6.3.2.- Cálculo del ϕ_{SPM} y de la P_{in} en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del ϕ_{SPM} y P_{in} se tienen los siguientes datos:

- Para L_4 y L_6 la $L_{eff} = 17.11$ Km.
- Para L_5, L_7, L_8 y L_9 la $L_{eff} = 17.46$ Km.
- $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
- ϕ_{SPM} para L_4 y L_6 :

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(4mW)(17.11km) = 0.123 \text{ rad} \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_4 y L_6 cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff} \gamma} = \frac{\pi / 2}{(17.11km)(1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})} = 51mW$$

- ϕ_{SPM} para L_5, L_7, L_8 y L_9 :

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(4mW)(17.46km) = 0.125 \text{ rad} \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_5, L_7, L_8 y L_9 cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff} \gamma} = \frac{\pi / 2}{(17.46km)(1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})} = 49.98mW$$

3.4.6.3.3.- Cálculo del ϕ_{SPM} y de la P_{in} en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales - Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del ϕ_{SPM} y P_{in} se tienen los siguientes datos:

- Para L_{12} y L_{13} la $L_{eff} = 17.50$ Km.
- Para L_{10} y L_{11} la $L_{eff} = 17.13$ Km.
- $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
- ϕ_{SPM} para L_{12} y L_{14} :

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(4mW)(17.5km) = 0.126 \text{ rad} \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_{12} y L_{13} cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff} \gamma} = \frac{\pi / 2}{(17.5km)(1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})} = 49.86mW$$

- ϕ_{SPM} para L_{10} y L_{11} :

$$\phi_{SPM} = \gamma P_{in} L_{eff} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(4mW)(17.13km) = 0.123 \text{ rad} \ll \frac{\pi}{2}$$

- P_{in} para L_{10} y L_{11} cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$:

$$P_{in} < \frac{\phi_{SPM}}{L_{eff} \gamma} = \frac{\pi / 2}{(17.13km)(1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})} = 50.94mW$$

3.4.6.3.4.- Resumen de los Resultados Obtenidos sobre el ϕ_{SPM} .

En las siguientes tablas se resumen los resultados obtenidos para los diferentes tramos en el cálculo del ϕ_{SPM} y la máxima potencia de entrada para un canal cuando el $\phi_{SPM} = \pi/2$.

Tabla 3.52

Resultados del ϕ_{SPM} y P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$
en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia

	SMF-28		LEAF	
	ϕ_{SPM} (rad)	P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ (mW)	ϕ_{SPM} (rad)	P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ (mW)
L ₁	0.105	59.42	0.126	49.78
L ₂	0.098	63.28	0.118	53.01
L ₃	0.105	59.42	0.126	49.78

Tabla 3.53

Resultados del ϕ_{SPM} y P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ en el Tramo
MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe –
MTSO Barquisimeto

	LEAF	
	ϕ_{SPM} (rad)	P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ (mW)
L ₄	0.123	51
L ₅	0.125	49.98
L ₆	0.123	51
L ₇	0.125	49.98
L ₈	0.125	49.98
L ₉	0.125	49.98

Tabla 3.54

Resultados del ϕ_{SPM} y P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ en el Tramo
MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado –
Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo

	LEAF	
	ϕ_{SPM} (rad)	P_{in} cuando $\phi_{SPM} = \pi/2$ (mW)
L ₁₀	0.123	50.94
L ₁₁	0.123	50.94
L ₁₂	0.126	49.86
L ₁₃	0.126	49.86

Como se observa en los resultados anteriores, el desplazamiento de fase causado por la SPM en cada uno de los tramos no es lo suficientemente significativo para generar alguna penalidad de potencia, por otro lado, la potencia de entrada que requiere un canal para generar un desplazamiento de fase es muy alta en comparación con la potencia de entrada promedio de los canales del sistema DWDM. En conclusión, la penalidad de potencia producto del efecto SPM sobre cada canal se considera despreciable.

3.4.6.4.- Penalidad de Potencia debida a la Modulación de Fase Cruzada (XPM).

La XPM es similar a la SPM, excepto que el desplazamiento de fase de un canal depende de la potencia de los otros canales. La potencia de los otros canales al desplazarse por la fibra crea variaciones del índice de refracción y causa una modulación de fase o chirp negativo en otro canal. El efecto de la XPM sobre los sistemas DWDM es degradar el aparente aislamiento entre canales del enlace, así como lo hace el FWM.

La penalidad de potencia por los efectos del XPM incrementa en la medida en que se aumente la potencia, el número de canales, y el espaciado entre

canales sea más pequeño. Pero también, cuando se tienen fibras con mayor dispersión cromática, como la SMF-28, se tiende a decrementar la penalidad de potencia generada por la XPM, ya que causa una reducción del tiempo de jitter y en la distorsión de la amplitud del pulso. Debido a estos efectos, es difícil predecir la penalidad que puede generar la XPM, excepto a través de algún software que simule complejos modelos de propagación y de pruebas realizadas en laboratorios.

Cuando se utiliza fibra NZ-DSF o DSF, la compensación de la dispersión del enlace en el receptor final puede ser implementada minimizando los efectos de la XPM. Para un espaciado de canal de 100 GHz o mayor se obtienen mínimos efectos de la XPM, de igual modo, al aumentar el área efectiva de la fibra permite disminuir no solo el efecto del XPM, sino también del FWM y la SPM.

El desplazamiento de fase de un pulso en un canal puede ser estimado por la adaptación de la fórmula utilizada en el desplazamiento de fase de la SPM, como se indica a continuación.

$$\phi_{XPM} = \gamma \cdot L_{eff}(P_{TOTAL}) \quad (3.36)$$

A continuación se procede a calcular el ϕ_{XPM} en los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Para el cálculo del ϕ_{XPM} en el proyecto, se va a tomar como referencia la potencia total generada por la mayor cantidad de canales que el sistema DWDM puede disponer, que es $N=32$, y una potencia por canal de 6 dBm. Para definir la potencia total a la salida del amplificador óptico se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_{TOTAL} = P_{CANAL} + 10\log(N) \quad (3.37)$$

$$P_{TOTAL} = 6dBm + 10\log(32) = 21.05dBm \equiv 127mW$$

3.4.6.4.1.- Cálculo del ϕ_{XPM} en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del ϕ_{XPM} se tienen los siguientes datos:

- Para L_1 y L_3 la $L_{eff} = 17.53$ Km.
 - Para L_2 la $L_{eff} = 16.46$ Km.
 - $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
 - $\gamma = 1.508 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (SMF-28 @ 1550 nm).
- **ϕ_{XPM} para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con fibra SMF-28 @ 1550 nm.**

- Para L_1 y L_3 :

$$\phi_{XPM} = (1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(17.53\text{km})(127\text{mW}) = 3.33 \text{ rad}$$

- Para L_2 :

$$\phi_{XPM} = (1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(16.46\text{km})(127\text{mW}) = 3.15 \text{ rad}$$

- **ϕ_{XPM} para los tramos L_1 , L_2 y L_3 con fibra LEAF @ 1550 nm.**

- Para L_1 y L_3 :

$$\phi_{XPM} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(17.53\text{km})(127\text{mW}) = 4 \text{ rad}$$

- Para L_2 :

$$\phi_{XPM} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(16.46\text{km})(127\text{mW}) = 3.76 \text{ rad}$$

3.4.6.4.2.- Cálculo del ϕ_{XPM} en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del ϕ_{XPM} se tienen los siguientes datos:

- Para L_4 y L_6 la $L_{eff} = 17.11$ Km.
 - Para L_5 , L_7 , L_8 , y L_9 la $L_{eff} = 17.46$ Km.
 - $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
-
- Para L_4 y L_6 :

$$\phi_{XPM} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(17.11\text{km})(127\text{mW}) = 3.91 \text{ rad}$$

- Para L_5 , L_7 , L_8 , y L_9 :

$$\phi_{XPM} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/m.W})(17.46\text{km})(127\text{mW}) = 3.99 \text{ rad}$$

3.4.6.4.3.- Cálculo del ϕ_{XPM} en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales - Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.

Para la determinación del ϕ_{XPM} se tienen los siguientes datos:

- Para L_{12} y L_{13} la $L_{eff} = 17.50$ Km.
- Para L_{10} y L_{11} la $L_{eff} = 17.13$ Km.
- $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).

- Para L₁₂ y L₁₃:

$$\phi_{XPM} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(17.5\text{km})(127\text{mW}) = 4 \text{ rad}$$

- Para L₁₀ y L₁₁:

$$\phi_{XPM} = (1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m})(17.13\text{km})(127\text{mW}) = 3.91 \text{ rad}$$

3.4.6.4.4.- Observaciones Sobre los Resultados Obtenidos con el ϕ_{XPM} .

Los desplazamientos de fase obtenidos en los cálculos anteriores para los diferentes tramos están por encima de $\pi/2$, por lo tanto, se requiere hacer un ajuste en las ecuaciones con la finalidad de determinar la máxima cantidad de canales que se puede implementar en cada tramo sin que se genere algún tipo de penalización por la XPM. Para ello se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\gamma L_{eff} P_{TOTAL} \leq \frac{\pi}{2} \Rightarrow P_{TOTAL} = \frac{\pi}{2L_{eff}\gamma}$$

$$N = 10^{\left(\frac{P_{TOTAL} - P_{CANAL}}{10}\right)}$$

- **Cálculo de N para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.**

- Para L₁ y L₃ con la fibra SMF-28:

$$P_{TOTAL} = 59.42\text{mW} \equiv 17.37\text{dBm} \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{17.73\text{dBm} - 6\text{dBm}}{10}\right)} = 14.89$$

- Para L₂ con la fibra SMF-28:

$$P_{TOTAL} = 63.28mW \equiv 18.01dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{18.013dBm-6dBm}{10}\right)} = 15.89$$

- Para L₁ y L₃ con la fibra LEAF:

$$P_{TOTAL} = 49.78mW \equiv 16.97dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{16.97dBm-6dBm}{10}\right)} = 12.50$$

- Para L₂ con la fibra LEAF:

$$P_{TOTAL} = 53.01mW \equiv 17.24dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{17.24dBm-6dBm}{10}\right)} = 13.31$$

- **Cálculo de N para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.**

- Para L₄ y L₆:

$$P_{TOTAL} = 51mW \equiv 17.07dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{17.07dBm-6dBm}{10}\right)} = 12.81$$

- Para L₅, L₇, L₈, y L₉:

$$P_{TOTAL} = 49.98mW \equiv 16.98dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{16.98dBm-6dBm}{10}\right)} = 12.55$$

- **Cálculo de N para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.**

- Para L_{12} y L_{13} :

$$P_{TOTAL} = 49.86mW \equiv 16.97dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{16.97dBm-6dBm}{10}\right)} = 12.52$$

- Para L_{10} y L_{11} :

$$P_{TOTAL} = 50.94mW \equiv 17.07dBm \Rightarrow N = 10^{\left(\frac{17.07dBm-6dBm}{10}\right)} = 12.79$$

Como se observa en los resultados anteriores, la XPM viene a ser un problema en el desempeño del sistema cuando $N > 16$ en la fibra SMF-28 y $N > 13$ en la fibra LEAF, ya que se estaría incurriendo en una penalidad de potencia. En vista de que es difícil determinar teóricamente la penalidad de potencia que puede generar la XPM y que el sistema DWDM a implementar está diseñado para soportar hasta 16 canales en los tramos MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo y hasta 32 canales en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia, se ha recurrido a resultados de investigaciones y pruebas realizadas en laboratorios sobre el efecto de la XPM y del FWM* para definir aproximadamente la penalidad de potencia generada por la XPM para 16 y 32 canales en fibra tipo LEAF y SMF-28. La penalidad de potencia por la XPM (PP_{XPM}) es la siguiente:

- Fibra LEAF:

$$PP_{XPM} (16 \text{ canales}) = 0.5 \text{ dB} \text{ y } PP_{XPM} (32 \text{ canales}) = 1 \text{ dB.}$$

- Fibra SMF-28:

$$PP_{XPM} (32 \text{ canales}) = 0.5 \text{ dB.}$$

* Optical Fiber Communications Conference '99, 320 Gbps WDM Transmission over 450 Km of LEAF optical fiber.

También hay que reseñar que existe una técnica de inversión espectral para evitar las degradaciones producto de la SPM y la XPM conocida como OPC (Conjugador de Fase Optico), el cual se ubica en la mitad del enlace.

3.4.6.5.- Penalidad de Potencia debida al Four Wave Mixing (FWM).

El FWM es un proceso no lineal que ocurre cuando dos o tres canales interactúan a través de la susceptibilidad eléctrica de la fibra óptica generándose nuevas ondas o armónicas. Cuando se propagan dos canales con frecuencias ω_I y ω_J por una misma fibra se generan dos ondas adicionales en las frecuencias $\omega_I - (\omega_J - \omega_I)$ y $\omega_J + (\omega_J - \omega_I)$. Ahora bien, cuando se tienen 3 canales en las frecuencias ω_I, ω_J y ω_K se generan nueve ondas adicionales en las frecuencias:

$$\omega_{IJK} = \omega_I + \omega_J - \omega_K \quad \text{donde } I, J, K \in (1:3)$$

En la siguiente figura se puede apreciar la distribución espectral de los canales y las nueve ondas generadas por el FWM para el caso donde los canales se encuentran igualmente espaciados ($|\omega_1 - \omega_2| = |\omega_2 - \omega_3|$).

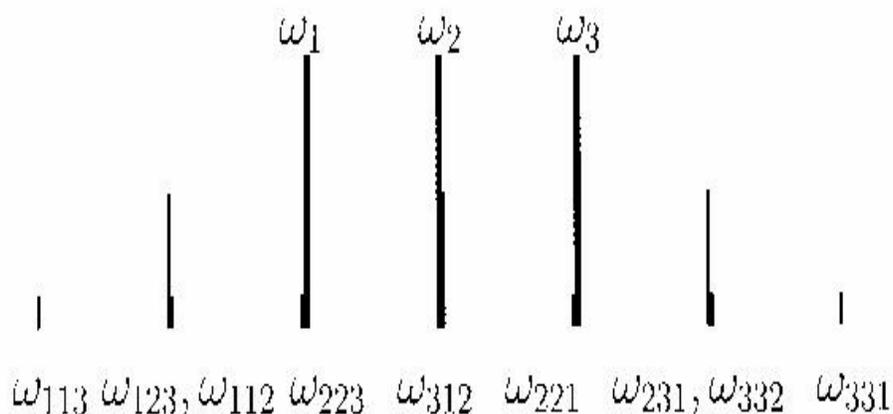


Figura 3.9 Espectro de frecuencias de los tonos ω_1, ω_2 y ω_3 con el FWM asociado cuando $|\omega_1 - \omega_2| = |\omega_2 - \omega_3|$.

Las ondas generadas por el FWM van a reducir la energía en los canales transmitidos (transferencia de potencia), lo cual a su vez puede conllevar a una penalidad de potencia para altos niveles de potencia transmitida. Adicionalmente, si los canales se encuentran igualmente espaciados, algunas de las nuevas ondas generadas tendrán frecuencias coincidentes con las de los canales inyectados en la fibra, lo cual genera ruido o crosstalk en ese canal.

La eficiencia de transferencia de potencia puede reducirse si el espaciado entre canales es mayor, si el espaciado entre canales es desigual, si la potencia de transmisión de cada canal es baja o si la dispersión de la fibra es alta. La potencia generada por cada tono FWM puede ser expresada como:

$$P_{IJK} = \left(\frac{D_{IJK}}{3} \mathcal{L}_{eff} \right)^2 P_I P_J P_K e^{-\alpha L} \eta_{IJK} \quad (3.38)$$

Donde:

- η_{IJK} es la eficiencia del FWM.
- P_I , P_J y P_K , son las potencias de los canales I, J y K.
- L es la longitud del trayecto.
- α es la atenuación constante de la fibra dada en (1/Km).
- D_{IJK} es el factor degenerativo y cuyo valor depende de las siguientes condiciones:

- $D_{IJK} = 6$, cuando ($I \neq J \neq K$), y en este caso se generan tres ondas débiles con las frecuencias:

$$\omega_{123}, \omega_{231}, \omega_{312}$$

- $D_{IJK} = 3$, cuando ($I = J \neq K$), y en este caso se generan seis ondas débiles con las frecuencias:

$$\omega_{112}, \omega_{113}, \omega_{221}, \omega_{223}, \omega_{331}, \omega_{332}$$

En cuanto a la expresión que define la eficiencia del FWM (η_{IJK}) se tiene lo siguiente:

$$\eta_{IJK}(\alpha, \Delta\beta, L) = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \right) + \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \operatorname{sen}^2\left(\frac{\Delta\beta L}{2}\right)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right)^2 \quad (3.39)$$

Cuando los enlaces son de larga distancia la ecuación anterior queda reducida a:

$$e^{-\alpha L} \approx 0 \Rightarrow \eta_{IJK}(\alpha, \Delta\beta, L) = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \right) \quad (3.40)$$

Donde:

- $\Delta\beta$ es la diferencia de fase FWM debido a la dispersión de las longitudes de onda originales.

En cuanto a la expresión que define a $\Delta\beta$ se tiene:

$$\Delta\beta = \beta_I + \beta_J - \beta_K - \beta_{IJK} \quad (3.41)$$

$$\Delta\beta = \left(\frac{2\pi\lambda^2}{c} \right) \Delta\nu_{IJ} \Delta\nu_{JK} \left[D + \frac{\lambda^2 S_0}{2c} (\Delta\nu_{IJ} + \Delta\nu_{JK}) \right] \quad (3.42)$$

$$\Delta\nu_{IJ} = |\omega_I - \omega_J| \quad y \quad \Delta\nu_{JK} = |\omega_J - \omega_K| \quad (3.43)$$

Donde:

- D es el coeficiente de dispersión cromática de la fibra.
- S_0 es la pendiente de la dispersión cromática de la fibra en λ_0 .

- λ es la longitud de onda en el vacío (1550 nm).
- $\Delta\nu_{IJ}$ y $\Delta\nu_{JK}$ es la separación entre canales.

A continuación se procede a determinar la diferencia de fase ($\Delta\beta$) y la eficiencia del FWM (η_{IJK}) que se generan en las fibras SMF-28 y LEAF, para ello se van a considerar dos situaciones que definen el peor caso: una es considerar la influencia del tono FWM de mayor efecto (ω_{312}) sobre el desempeño del sistema, y la otra es cuando los canales están igualmente espaciados. Adicionalmente, el cálculo de la ($\Delta\beta$) y la (η_{IJK}) se realizará para un espaciado entre canales de 100 GHz (el espaciado que tienen los canales en el proyecto) y para un mínimo espaciado entre canales, con la finalidad de poder comparar en ambos casos los niveles de potencia del tono generado por el FWM (P_{312}) y el crosstalk óptico asociado, y de este manera determinar si se produce alguna penalidad de potencia producto del FWM.

3.4.6.5.1.- Cálculo de la $\Delta\beta$ y la η_{IJK} con un Espaciado entre Canales de 100 GHz.

Para el cálculo de la $\Delta\beta$ y la η_{IJK} se toma como referencia a los canales centrales 20, 21 y 22, los cuales tienen un espaciado de canal de 100 GHz y su frecuencia es la siguiente:

- $\omega_1 = 193.4$ THz (canal 20).
- $\omega_2 = 193.3$ THz (canal 21).
- $\omega_3 = 193.2$ THz (canal 22).

- **Cálculo de $\Delta\beta$ para la fibra SMF-28.**

$$\Delta\nu_{12} = |\omega_1 - \omega_2| = 100\text{GHz} \Rightarrow \Delta\nu_{12} = \Delta\nu_{23} = 100\text{GHz}$$

$$\Delta\beta = \left(\frac{2\pi(1550nm)^2}{3.10^8 m / seg} \right) (100GHz)^2 \left[(16.70ps / nm.km) + \left(\frac{(1550nm)^2 (0.06ps / nm^2.km)}{2(3.10^8 m / seg)} \right) (200GHz) \right]$$

$$\Delta\beta = 8.42 / km$$

- **Cálculo de η_{LJK} con fibra SMF-28.**

Para el cálculo de la eficiencia del FWM se tienen los siguientes datos:

- $\alpha=0.057/Km$

$$\eta_{LJK}(\alpha, \Delta\beta, L) = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \right)^2 = \left(\frac{(0.057 / km)^2}{(0.057 / km)^2 + (8.42 / km)^2} \right) = 4.58.10^{-5}$$

- **Cálculo de $\Delta\beta$ para la fibra LEAF.**

$$\Delta\nu_{12} = |\nu_1 - \nu_2| = 100GHz \Rightarrow \Delta\nu_{12} = \Delta\nu_{23} = 100GHz$$

$$\Delta\beta = \left(\frac{2\pi(1550nm)^2}{3.10^8 m / seg} \right) (100GHz)^2 \left[(3.67ps / nm.km) + \left(\frac{(1550nm)^2 (0.105ps / nm^2.km)}{2(3.10^8 m / seg)} \right) (200GHz) \right]$$

$$\Delta\beta = 1.88 / km$$

- **Cálculo de η_{LJK} para la fibra LEAF.**

Para el cálculo de la eficiencia del FWM se tienen los siguientes datos:

- $\alpha=0.057/Km$

$$\eta_{LJK}(\alpha, \Delta\beta, L) = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \right)^2 = \left(\frac{(0.057 / km)^2}{(0.057 / km)^2 + (1.88 / km)^2} \right) = 9.18.10^{-4}$$

3.4.6.5.2.- Cálculo de la $\Delta\beta$ y la η_{IJK} para un Mínimo Espaciado entre Canales.

El mínimo espaciado entre canales viene determinado a partir de la solución de la ecuación paramétrica que predice la ganancia exponencial para las ondas de Stokes y anti-Stokes, de la cual se obtiene:

$$\Delta v_{eq} (GHz) = 11.65 \left[\frac{P_1 (mW)}{D (ps / nm.km)} \right]^{1/2} \quad (3.44)$$

$$\Delta v_{eq} = \sqrt{\Delta v_{12} \Delta v_{23}} \quad (3.45)$$

Donde:

- Δv_{eq} define el espaciado equivalente del canal.

A continuación se procede a calcular el mínimo espaciado de canal para una potencia de inyección por canal de 6 dBm y utilizando las fibras SMF-28 y LEAF.

- **Cálculo del mínimo espaciado en la fibra SMF-28.**

$$\Delta v_{eq} (GHz) = 11.65 \left[\frac{4mW}{16.70 ps / nm.km} \right]^{1/2} = 5.70GHz$$

A partir del valor del mínimo espaciado entre canales, se procede a calcular $\Delta\beta$ y η_{IJK} .

- **Cálculo de $\Delta\beta$ para la fibra SMF-28 con un $\Delta v_{eq} = 5.7 GHz$.**

Cuando el espaciado entre canales es el mismo se tiene lo siguiente:

$$\Delta v_{eq} = 5.7GHz \Rightarrow \Delta v_{12} = \Delta v_{23} = 5.7GHz$$

$$\Delta\beta = \left(\frac{2\pi(1550nm)^2}{3.10^8 m / seg} \right) (5.7GHz)^2 \left[(16.70ps / nm.km) + \left(\frac{(1550nm)^2 (0.06ps / nm^2.km)}{2(3.10^8 m / seg)} \right) (11.4GHz) \right]$$

$$\Delta\beta = 27.3.10^{-3} / km$$

- **Cálculo de η_{IJK} para la fibra SMF-28 con un $\Delta v_{eq} = 5.7GHz$.**

Para el cálculo de la eficiencia del FWM se tienen los siguientes datos:

- $\alpha = 0.057 / Km$

$$\eta_{IJK}(\alpha, \Delta\beta, L) = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \right)^2 = \left(\frac{(0.057 / km)^2}{(0.057 / km)^2 + (27.3.10^{-3} / km)^2} \right) = 0.813$$

- **Cálculo del mínimo espaciado en la fibra LEAF.**

$$\Delta v_{eq} (GHz) = 11.65 \left[\frac{4mW}{3.67 ps / nm.km} \right]^{1/2} = 12.16GHz$$

A partir del valor del mínimo espaciado entre canales, se procede a calcular $\Delta\beta$ y η_{IJK} .

- **Cálculo de $\Delta\beta$ para la fibra LEAF con un $\Delta v_{eq} = 12.16 GHz$**

Cuando el espaciado entre canales es el mismo se tiene lo siguiente:

$$\Delta v_{eq} = 12.16GHz \Rightarrow \Delta v_{12} = \Delta v_{23} = 12.16GHz$$

$$\Delta\beta = \left(\frac{2\pi(1550nm)^2}{3.10^8 m / seg} \right) (12.16GHz)^2 \left[(3.67 ps / nm.km) + \left(\frac{(1550nm)^2 (0.105 ps / nm^2 .km)}{2(3.10^8 m / seg)} \right) (24.32GHz) \right]$$

$$\Delta\beta = 27.38.10^{-3} / km$$

- **Cálculo de η_{JK} para la fibra LEAF con un $\Delta\nu_{eq} = 12.16$ GHz.**

Para el cálculo de la eficiencia del FWM se tienen los siguientes datos:

- $\alpha = 0.057 / Km$

$$\eta_{JK}(\alpha, \Delta\beta, L) = \left(\frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \right)^2 = \left(\frac{(0.057 / km)^2}{(0.057 / km)^2 + (27.38.10^{-3} / km)^2} \right) = 0.81$$

Una vez obtenido los respectivos valores de la diferencia de fase ($\Delta\beta$) y la eficiencia del FWM (η_{JK}) para la fibra SMF-28 y LEAF, se procede a calcular la potencia del tono generado por el FWM (P_{312}) en los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

3.4.6.5.3.- Cálculo de P_{312} en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.

El cálculo de P_{312} se realizará tanto para un espaciado entre de canales de 100 GHz, como para un mínimo espaciado, y para ello se tiene los siguientes datos:

- Para L_1 y L_3 la $L_{eff} = 17.53$ Km.
- Para L_2 la $L_{eff} = 16.46$ Km.
- $\gamma = 1.80.10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
- $\gamma = 1.508.10^{-3}$ 1/W.m (SMF-28 @ 1550 nm).

- $D_{JK}=6$
- $P_i = P_j = P_k = 6 \text{ dBm} \equiv 4 \text{ mW}$
- **P_{312} para la fibra SMF-28 con un espaciado entre canales de 100 GHz.**
- Para L_1 (142 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (4.58 \cdot 10^{-5}) e^{-(0.057 / \text{ km})(142 \text{ km})} = 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ mW}$$

- Para L_2 (49 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (16.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (4.58 \cdot 10^{-5}) e^{-(0.057 / \text{ km})(49 \text{ km})} = 4.40 \cdot 10^{-7} \text{ mW}$$

- Para L_3 (191 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (4.58 \cdot 10^{-5}) e^{-(0.057 / \text{ km})(191 \text{ km})} = 1.52 \cdot 10^{-10} \text{ mW}$$

- **P_{312} para la fibra LEAF con un espaciado entre canales de 100 GHz.**

- Para L_1 (142 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(142 \text{ km})} = 72.30 \cdot 10^{-9} \text{ mW}$$

- Para L_2 (49 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (16.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(49 \text{ km})} = 12.58 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L₃ (191 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(191 \text{ km})} = 4.35 \cdot 10^{-9} \text{ mW}$$

- **P₃₁₂ para la fibra SMF-28 con un mínimo espaciado de Canal.**

- Para L₁ (142 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.813) e^{-(0.057 / \text{ km})(142 \text{ km})} = 44.94 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L₂ (49 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (16.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.813) e^{-(0.057 / \text{ km})(49 \text{ km})} = 7.82 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Para L₃ (191 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.508 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.813) e^{-(0.057 / \text{ km})(191 \text{ km})} = 2.7 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- **P₃₁₂ para la fibra LEAF con un mínimo espaciado de Canal.**

- Para L₁ (191 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(142 \text{ km})} = 63.79 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L₂ (49 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (16.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(49 \text{ km})} 11.1 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Para L₃ (191 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.53 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(191 \text{ km})} = 3.84 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

3.4.6.5.4.- Cálculo de P_{312} en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.

El cálculo de P_{312} se realizará tanto para un espaciado entre de canales de 100 GHz, como para un mínimo espaciado, y para ello se tiene los siguientes datos:

- Para L₄ y L₆ la $L_{\text{eff}} = 17.11 \text{ Km}$.
- Para L₅, L₇, L₈, y L₉ la $L_{\text{eff}} = 17.46 \text{ Km}$.
- $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m}$ (LEAF @ 1550 nm).
- $D_{IJK} = 6$
- $P_i = P_j = P_k = 6 \text{ dBm} \equiv 4 \text{ mW}$.
- P_{312} para la fibra LEAF con un espaciado entre canales de 100 GHz.
- Para L₄ (65 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/m.W} \right) (17.11 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(65 \text{ km})} = 5.34 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L₅ (94 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(94 \text{ km})} = 1.09 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L₆ (70.5 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.11 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(70.5 \text{ km})} = 3.78 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L₇ (229.5 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(229.5 \text{ km})} = 4.82 \cdot 10^{-10} \text{ mW}$$

- Para L₈ (159 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(159 \text{ km})} = 2.66 \cdot 10^{-8} \text{ mW}$$

- Para L₉ (164.5 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(164.5 \text{ km})} = 1.96 \cdot 10^{-8} \text{ mW}$$

- **P₃₁₂ para la fibra LEAF con un mínimo espaciado de Canal.**

- Para L₄ (65 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.11 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(65 \text{ km})} = 4.72 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Para L₅ (94 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(94 \text{ km})} = 9.64 \cdot 10^{-4} \text{ mW}$$

- Para L₆ (70.5 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.11 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(70.5 \text{ km})} = 3.34 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Para L₇ (229.5 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(229.5 \text{ km})} = 4.26 \cdot 10^{-7} \text{ mW}$$

- Para L₈ (159 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(159 \text{ km})} = 2.35 \cdot 10^{-5} \text{ mW}$$

- Para L₉ (164.5 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.46 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(164.5 \text{ km})} = 1.73 \cdot 10^{-5} \text{ mW}$$

3.4.6.5.5.- Cálculo de P_{312} en Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.

El cálculo de P_{312} se realizará tanto para un espaciado entre de canales de 100 GHz, como para un mínimo espaciado, y para ello se tiene los siguientes datos:

- Para L_{12} y L_{13} la $L_{eff} = 17.50$ Km.
 - Para L_{10} y L_{11} la $L_{eff} = 17.13$ Km.
 - $\gamma = 1.80 \cdot 10^{-3}$ 1/W.m (LEAF @ 1550 nm).
 - $D_{IJK} = 6$
 - $P_i = P_j = P_k = 6$ dBm $\equiv 4$ mW.
- **P_{312} para la fibra LEAF con un espaciado entre canales de 100 GHz.**

- Para L_{10} (67 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.13 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{km})(67 \text{ km})} = 4.69 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L_{11} (66 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.13 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{km})(66 \text{ km})} = 5.13 \cdot 10^{-6} \text{ mW}$$

- Para L_{12} (223 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.5 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{km})(223 \text{ km})} = 7.10 \cdot 10^{-10} \text{ mW}$$

- Para L₁₃ (133 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.5 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (9.18 \cdot 10^{-4}) e^{-(0.057 / \text{ km})(133 \text{ km})} = 1.18 \cdot 10^{-7} \text{ mW}$$

- **P₃₁₂ para la fibra LEAF con un mínimo espaciado de Canal.**

- Para L₁₀ (67 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.13 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(67 \text{ km})} = 4.13 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Para L₁₁ (66 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.13 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(66 \text{ km})} = 4.53 \cdot 10^{-3} \text{ mW}$$

- Para L₁₂ (223 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.5 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(223 \text{ km})} = 6.19 \cdot 10^{-7} \text{ mW}$$

- Para L₁₃ (133 Km):

$$P_{312} = \left(\frac{6}{3} \left(1.8 \cdot 10^{-3} \text{ 1/W.m} \right) (17.5 \text{ km}) \right)^2 (4 \text{ mW})^3 (0.81) e^{-(0.057 / \text{ km})(133 \text{ km})} = 1.04 \cdot 10^{-4} \text{ mW}$$

3.4.6.5.6.- Análisis y Resumen de los Resultados Obtenidos de $\Delta\beta$, η_{JK} , y P_{312} .

En las siguientes tablas se resumen los resultados obtenidos en los diferentes tramos de $\Delta\beta$, η_{JK} , y P_{312} .

Tabla 3.55

Resultados del FWM con un Espaciado de canal de 100 GHz en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia

		$\Delta\beta$ (1/km)	η_{JK}	P_{312} (dBm)
SMF-28	L₁	8.42	$4.58 \cdot 10^{-5}$	-86
	L₂	8.42	$4.58 \cdot 10^{-5}$	-63.55
	L₃	8.42	$4.58 \cdot 10^{-5}$	-98
LEAF	L₁	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-71.4
	L₂	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-49
	L₃	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-83.66

Tabla 3.56

Resultados del FWM con un Mínimo Espaciado de canal en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia

		$\Delta\beta$ (1/km)	η_{JK}	P_{312} (dBm)
SMF-28	L₁	$27.3 \cdot 10^{-3}$	0.813	-43.4
	L₂	$27.3 \cdot 10^{-3}$	0.813	-21.06
	L₃	$27.3 \cdot 10^{-3}$	0.813	-55.6
LEAF	L₁	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-41.95
	L₂	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-19.54
	L₃	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-54.15

Tabla 3.57

Resultados del FWM con un Espaciado de canal de 100 GHz en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

		$\Delta\beta$ (1/km)	η_{JK}	P_{312} (dBm)
LEAF	L₄	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-52.71
	L₅	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-59.61
	L₆	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-52.21
	L₇	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-93.16
	L₈	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-75.73
	L₉	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-77

Tabla 3.58

Resultados del FWM con un Mínimo Espaciado de canal en el Tramo
MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

		$\Delta\beta$ (1/km)	η_{JK}	P_{312} (dBm)
LEAF	L ₄	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-23.26
	L ₅	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-30.15
	L ₆	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-24.75
	L ₇	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-63.7
	L ₈	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-46.27
	L ₉	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-47.6

Tabla 3.59

Resultados del FWM con un Espaciado de canal de 100 GHz en el
Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado –
Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo

		$\Delta\beta$ (1/km)	η_{JK}	P_{312} (dBm)
LEAF	L ₁₀	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-53.28
	L ₁₁	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-52.89
	L ₁₂	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-91.53
	L ₁₃	1.88	$9.18 \cdot 10^{-4}$	-69.24

Tabla 3.60

Resultados del FWM con un Mínimo Espaciado de canal en el Tramo
MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado –
Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo

		$\Delta\beta$ (1/km)	η_{JK}	P_{312} (dBm)
LEAF	L ₁₀	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-23.83
	L ₁₁	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-23.43
	L ₁₂	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-62
	L ₁₃	$27.38 \cdot 10^{-3}$	0.81	-39.79

Como se puede observar en las tablas y en las ecuaciones anteriores:

- La diferencia de fase del FWM ($\Delta\beta$) es mucho menor en la fibra LEAF, debido a que su dispersión cromática es mucho menor que en la fibra SMF-28.
- En la medida que el espaciado entre canales ($\Delta\nu$) es mayor, la diferencia de fase FWM ($\Delta\beta$) será mayor.
- Si la diferencia de fase FWM ($\Delta\beta$) aumenta, la eficiencia del FWM (η_{IJK}) ira disminuyendo, y viceversa.
- Si la eficiencia del FWM (η_{IJK}) aumenta, la potencia P_{312} también aumentará.
- En la medida que la longitud efectiva (L_{eff}) sea menor y el área efectiva (A_{eff}) sea mayor, la potencia P_{312} ira disminuyendo.

3.5.6.5.7.- Cálculo del Crosstalk generado por el FWM.

El crosstalk óptico es definido por la siguiente expresión:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{ij}}{P_j} \right) \quad (3.46)$$

Donde:

- P_{ij} es la potencia óptica residual del canal i en el canal j.
- P_j es la potencia óptica del canal j.

A continuación se calcula el crosstalk óptico generado por el FWM en los diferentes tramos de la red interurbana de fibra óptica tanto para un mínimo espaciado de canal, como para un espaciado de canal de 100 GHz.

3.4.6.5.7.1.- Cálculo del Crosstalk óptico en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia con las fibras SMF-28 y LEAF @ 1550 nm.

- **Crosstalk óptico para la fibra SMF-28 con un espaciado entre canales de 100 GHz.**

- Para L₁:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{2.5 \cdot 10^{-9} mW}{4mW}\right) = -92dB$$

- Para L₂:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{4.40 \cdot 10^{-7} mW}{4mW}\right) = -69.5dB$$

- Para L₃:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{1.52 \cdot 10^{-10} mW}{4mW}\right) = -104.dB$$

- **Crosstalk óptico para la fibra LEAF con un espaciado entre canales de 100 GHz.**

- Para L₁:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{72.4 \cdot 10^{-9} mW}{4mW}\right) = -77.42dB$$

- Para L₂:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{12.58 \cdot 10^{-6} mW}{4mW}\right) = -55dB$$

- Para L₃:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{4.35 \cdot 10^{-9} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -89.63 \text{ dB}$$

- **Crosstalk óptico para la fibra SMF-28 con un mínimo espaciado entre canales.**

- Para L₁:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{4.5 \cdot 10^{-5} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -49.4 \text{ dB}$$

- Para L₂:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{7.83 \cdot 10^{-3} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -27.08 \text{ dB}$$

- Para L₃:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{2.75 \cdot 10^{-6} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -64.62 \text{ dB}$$

- **Crosstalk óptico para la fibra LEAF con un mínimo espaciado entre canales.**

- Para L₁:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{6.38 \cdot 10^{-5} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -47.97 \text{ dB}$$

- Para L₂:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{11.11 \cdot 10^{-3} mW}{4mW}\right) = -25.56dB$$

- Para L₃:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{3.84 \cdot 10^{-6} mW}{4mW}\right) = -60.17 dB$$

3.4.6.5.7.2.- Cálculo del Crosstalk Óptico en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto con la fibra LEAF @ 1550 nm.

- **Crosstalk óptico para la fibra LEAF con un espaciado entre canales de 100 GHz.**

- Para L₄:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{5.35 \cdot 10^{-6} mW}{4mW}\right) = -58.73dB$$

- Para L₅:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{1.09 \cdot 10^{-6} mW}{4mW}\right) = -65.63dB$$

- Para L₆:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{6.01 \cdot 10^{-6} mW}{4mW}\right) = -58.23 dB$$

- Para L₇:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{0.48 \cdot 10^{-9} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -99.18 \text{ dB}$$

- Para L₈:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{2.67 \cdot 10^{-8} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -81.77 \text{ dB}$$

- Para L₉:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{1.99 \cdot 10^{-8} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -83 \text{ dB}$$

- **Crosstalk óptico para la fibra LEAF con un mínimo espaciado entre canales.**

- Para L₄:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{4.72 \cdot 10^{-3} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -29.28 \text{ dB}$$

- Para L₅:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{9.66 \cdot 10^{-4} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -36.17 \text{ dB}$$

- Para L₆:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{3.34 \cdot 10^{-3} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -30.77 \text{ dB}$$

- Para L₇:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{4.26 \cdot 10^{-7} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -69.72 \text{ dB}$$

- Para L₈:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{2.36 \cdot 10^{-5} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -52.29 \text{ dB}$$

- Para L₉:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{1.73 \cdot 10^{-5} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -53.62 \text{ dB}$$

3.4.6.5.7.3.- Cálculo del Crosstalk Óptico en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo con la fibra LEAF @ 1550 nm.

- **Crosstalk óptico para la fibra LEAF con un espaciado entre canales de 100 GHz.**

- Para L₁₀:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{4.69 \cdot 10^{-6} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -59.3 \text{ dB}$$

- Para L₁₁:

$$D_{ij} = 10\log\left(\frac{P_{312}}{P_2}\right) = 10\log\left(\frac{5.14 \cdot 10^{-6} \text{ mW}}{4 \text{ mW}}\right) = -58.91 \text{ dB}$$

- Para L₁₂:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{312}}{P_2} \right) = 10 \log \left(\frac{0.7 \cdot 10^{-9} \text{ mW}}{4 \text{ mW}} \right) = -97.55 \text{ dB}$$

- Para L₁₃:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{312}}{P_2} \right) = 10 \log \left(\frac{0.119 \cdot 10^{-6} \text{ mW}}{4 \text{ mW}} \right) = -75.26 \text{ dB}$$

- **Crosstalk óptico para la fibra LEAF con un mínimo espaciado entre canales.**

- Para L₁₀:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{312}}{P_2} \right) = 10 \log \left(\frac{4.13 \cdot 10^{-3} \text{ mW}}{4 \text{ mW}} \right) = -29.85 \text{ dB}$$

- Para L₁₁:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{312}}{P_2} \right) = 10 \log \left(\frac{4.53 \cdot 10^{-3} \text{ mW}}{4 \text{ mW}} \right) = -29.45 \text{ dB}$$

- Para L₁₂:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{312}}{P_2} \right) = 10 \log \left(\frac{6.3 \cdot 10^{-7} \text{ mW}}{4 \text{ mW}} \right) = -68 \text{ dB}$$

- Para L₁₃:

$$D_{ij} = 10 \log \left(\frac{P_{312}}{P_2} \right) = 10 \log \left(\frac{1.04 \cdot 10^{-4} \text{ mW}}{4 \text{ mW}} \right) = -45.81 \text{ dB}$$

3.4.6.5.8.- Resumen de los Valores Obtenidos en el Crosstalk Optico.

En las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos del crosstalk óptico en los diferentes tramos, tanto para un espaciado entre canales de 100 GHz, como para un mínimo espaciado entre canales.

Tabla 3.61

Resultados del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Canaima –
Tiara - Venepal – MTSO Valencia

		Xtalk Optico @ $\Delta\nu_{eq} = 100$ GHz (dB)	Xtalk Optico @ mínimo espaciado (dB)
SMF-28	L ₁	-92	-49.4
	L ₂	-69.5	-27.08
	L ₃	-104	-64.62
LEAF	L ₁	-77.42	-47.97
	L ₂	-55	-25.26
	L ₃	-89.63	-60.17

Tabla 3.62

Resultados del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Valencia –
Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto

		Xtalk Optico @ $\Delta\nu_{eq} = 100$ GHz (dB)	Xtalk Optico @ mínimo espaciado (dB)
LEAF	L ₄	-58.73	-29.28
	L ₅	-65.63	-36.17
	L ₆	-58.23	-30.77
	L ₇	-99.18	-69.72
	L ₈	-81.77	-52.29
	L ₉	-83	-53.62

Tabla 3.63

Resultados del Crosstalk Optico en el Tramo MTSO Barquisimeto –
Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda –
MTSO Maracaibo

		Xtalk Optico @$\Delta\nu_{eq} = 100$ GHz (dB)	Xtalk Optico @ mínimo espaciado (dB)
LEAF	L₁₀	-59.3	-29.85
	L₁₁	-58.91	-29.45
	L₁₂	-97.55	-68
	L₁₃	-75.26	-45.81

Como se puede apreciar en los resultados anteriores, el crosstalk óptico para un espaciado entre canales 100 GHz es menor en la fibra SMF-28 que en la LEAF, como consecuencia de la dispersión cromática presente en las mismas. En la medida que la dispersión cromática sea mayor, la eficiencia del FWM será menor, y por lo tanto, la potencia de los tonos FWM será menor. Al comparar los valores del crosstalk óptico para un mínimo espaciado entre canales (umbral del crosstalk óptico) con los valores del crosstalk óptico para un espaciado de 100 GHz, existen diferencias por encima de 30 dB en todos los tramos, dando a entender, que en el proyecto el efecto del FWM puede considerarse despreciable.

3.4.7.- Resumen de las Penalidades de Potencia.

En las siguientes tablas se muestran las penalidades de potencia obtenidas en los diferentes tramos, tanto a la altura del preamplificador óptico (en los tramos que aplique), como del fotoreceptor, las cuales además han sido clasificadas de acuerdo al tipo de fibra, la velocidad de transmisión y número de canales.

- Para el tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

Tabla 3.64

Penalidades de Potencia a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L₁
(MTSO Canaima – Venepal)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Dispersión Cromática	0.4	0.4	0.4	4.1	4.1	4.1	0.02	0.02	0.02	0.31	0.31	0.31
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
Crosstalk en el MUX/DEMUX	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7
No Linealidades												
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.5	1	0	0.5	1
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6.05	6.35	7.55	9.75	10	11.2	5.67	6.47	8.17	5.97	6.76	8.47

Tabla 3.65

Penalizaciones de Potencia a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L₂
(Venepal – MTSO Valencia)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Dispersión Cromática	0.05	0.05	0.05	0.74	0.74	0.74	0.002	0.002	0.002	0.039	0.039	0.039
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Crosstalk en el Mux/Demux	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7
No Linealidades												
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.5	1	0	0.5	1
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.8	5.1	6.3	5.49	5.79	6.99	4.75	5.55	7.25	4.78	5.58	7.28

Tabla 3.66

Penalizaciones de Potencia a la altura del Fotoreceptor para el Tramo L₂
(Venepal – MTSO Valencia)

Penalidad de Potencia (dB)	Fotoreceptor											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Dispersión Cromática	0.05	0.05	0.05	0.74	0.74	0.74	0.002	0.002	0.002	0.039	0.039	0.039
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32
Crosstalk en el Mux/Demux	1.42	2	3.4	1.42	2	3.4	1.42	2	3.4	1.42	2	3.4
No Linealidades												
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.5	1	0	0.5	1
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6.14	6.72	8.62	6.83	7.41	9.31	6.09	7.17	9.57	6.12	7.2	9.6

Tabla 3.67

Penalizaciones de Potencia a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L₃
(MTSO Canaima – MTSO Valencia)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Dispersión Cromática	0.71	0.71	0.71	5.84	5.84	5.84	0.03	0.03	0.03	0.55	0.55	0.55
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
Crosstalk en el Mux/Demux	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7	0.71	1	1.7
No Linealidades												
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.5	1	0	0.5	1
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	7.87	8.17	9.37	13	13.3	14.5	7.18	7.98	9.68	7.7	8.5	10.2

Tabla 3.68

Penalizaciones de Potencia a la altura del Fotoreceptor para el Tramo L₃
(MTSO Canaima – MTSO Valencia)

Penalidad de Potencia (dB)	Fotoreceptor											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Dispersión Cromática	0.71	0.71	0.71	5.84	5.84	5.84	0.03	0.03	0.03	0.55	0.55	0.55
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72	4.72
Crosstalk en el Mux/Demux	1.42	2	3.4	1.42	2	3.4	1.42	2	3.4	1.42	2	3.4
No Linealidades												
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.5
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0.5	1	0	0.5	1
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	9.2	9.78	11.68	14.3	14.9	16.8	8.52	9.6	12	9.04	10.1	12.5

- Para el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

Tabla 3.69

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₄
(MTSO Valencia – Puerto Cabello)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.004	0.004	0.068	0.068	0.004	0.004	0.068	0.068
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	1.7	1.7	1.7	1.7	2.32	2.32	2.32	2.32
Crosstalk en el Mux/Demux	0.7	1	0.7	1	1.42	2	1.42	2
No Linealidades								
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.75	5.55	4.81	5.61	6.09	7.17	6.15	7.23

Tabla 3.70

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₆
(MTSO Barquisimeto – San Felipe)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.005	0.005	0.08	0.08	0.005	0.005	0.08	0.08
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	1.7	1.7	1.7	1.7	2.32	2.32	2.32	2.32
Crosstalk en el Mux/Demux	0.7	1	0.7	1	1.42	2	1.42	2
No Linealidades								
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.75	5.55	4.83	5.63	6.09	7.17	6.17	7.25

Tabla 3.71

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₇
(MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.053	0.053	0.785	0.785	0.053	0.053	0.785	0.785
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	5.1	5.1	5.1	5.1	5.72	5.72	5.72	5.72
Crosstalk en el Mux/Demux	0.7	1	0.7	1	1.42	2	1.42	2
No Linealidades								
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	8.2	9	8.93	9.73	9.5	10.6	10.2	11.3

Tabla 3.72

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₈
(MTSO Valencia – San Felipe)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.025	0.025	0.39	0.39
PMD	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	3.4	3.4	3.4	3.4
Crosstalk en el Mux/Demux	0.71	1	0.71	1
No Linealidades				
SBS	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0
Total	6.48	7.27	6.85	7.64

Tabla 3.73

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₉
(MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.027	0.027	0.42	0.42
PMD	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	3.4	3.4	3.4	3.4
Crosstalk en el Mux/Demux	0.71	1	0.71	1
No Linealidades				
SBS	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0
Total	6.48	7.27	6.88	7.67

- Para el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Tabla 3.74

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₁₁
(MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.004	0.004	0.07	0.07	0.004	0.004	0.07	0.07
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	1.7	1.7	1.7	1.7	2.32	2.32	2.32	2.32
Crosstalk en el Mux/Demux	0.7	1	0.7	1	1.42	2	1.42	2
No Linealidades								
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4.75	5.55	4.82	5.62	6.09	7.17	6.16	7.24

Tabla 3.75

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₁₂
(MTSO Barquisimeto – El Venado)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.05	0.05	0.745	0.745	0.05	0.05	0.745	0.745
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	3.1	3.1	3.1	3.1	3.72	3.72	3.72	3.72
Crosstalk en el Mux/Demux	0.7	1	0.7	1	1.42	2	1.42	2
No Linealidades								
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6.2	7	6.89	7.69	7.54	8.62	8.23	9.31

Tabla 3.76

Penalizaciones de Potencia para el Tramo L₁₃
(MTSO Maracaibo – El Venado)

Penalidad de Potencia (dB)	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Dispersión Cromática	0.018	0.018	0.208	0.208	0.018	0.018	0.208	0.208
PMD	0	0	0	0	0	0	0	0
Chirp en el Transmisor	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Radio de Extinción de la Fuente	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85	1.85
PDL	3.4	3.4	3.4	3.4	4.02	4.02	4.02	4.02
Crosstalk en el Mux/Demux	0.7	1	0.7	1	1.42	2	1.42	2
No Linealidades								
SBS	0	0	0	0	0	0	0	0
SRS	0	0	0	0	0	0	0	0
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0
XPM	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5
FWM	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6.46	7.26	6.65	7.45	7.8	8.88	7.99	9.07

3.5.- Determinación del Factor Q Total y de la Sensibilidad Requerida en el Fotoreceptor y en los Amplificadores Opticos.

Las penalizaciones de potencia forman parte de las fuentes de ruido de la relación señal a ruido de un sistema digital o factor Q. Todas las fuentes de ruido que han sido analizadas degradan al factor Q, por ello las penalizaciones de potencia que han

sido calculadas deben ser adicionadas al factor Q ideal de un receptor para así mantener el BER requerido. Para mayor información sobre los conceptos y ecuaciones concernientes sobre el desempeño del sistema de transmisión referirse a la sección 2.7 (Desempeño del Sistema de Transmisión).

La tasa de BER que se va asumir en el sistema es de 10^{-12} , ya que parte de los sistemas que se van a multiplexar ópticamente, como Gigabit Ethernet y Fibre Channel requieren un $BER \leq 10^{-12}$. El factor Q ideal asociado se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{e^{-\frac{Q^2}{2}}}{Q\sqrt{2\pi}} \Rightarrow \frac{e^{-\frac{7^2}{2}}}{7\sqrt{2\pi}} = 1.3 \cdot 10^{-12}$$

$$Q = 7$$

De la ecuación anterior se obtiene que para un factor $Q(\text{lineal}) = 7$, el BER es de 10^{-12} . Adicionalmente se requiere que el factor Q este en decibeles, para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q(\text{dB}) = 10 \log(Q_{\text{lineal}}) = 10 \log(7) = 8.5 \text{ dB}$$

Es importante destacar que el sistema DWDM en los diferentes tramos puede llegar a disponer de un amplificador óptico (booster) a la salida del multiplexor óptico, un preamplificador óptico en la entrada del receptor y uno o varios amplificadores de línea a lo largo del tramo.

Los preamplificadores ópticos trabajan a mayores sensibilidades que las calculadas teóricamente para fotodetectores limitados por el ruido cuántico, pero mucho menor que las realistas limitadas por ruido térmico.

Los amplificadores de potencia (booster) son utilizados para compensar las pérdidas por atenuación basándose en el aumento de la potencia de emisión. Las componentes de ruido debidas a la emisión espontanea no son tan importantes,

porque se atenúan en la propagación, y el comportamiento de un enlace de estas características se parece más a un enlace convencional.

Los amplificadores de línea (ILA) tienen aplicación para enlaces de largas distancias. Los ILA se suelen colocar uno detrás del otro en longitudes o tramos cuya distancia es precisamente uno de los parámetros de diseño. Generalmente funcionan de forma que la ganancia prácticamente compense la atenuación de la línea entre dos amplificadores.

A continuación se procede a calcular el factor Q resultante o total a partir del factor Q ideal y de las penalidades de potencia total obtenidas para los diferentes tramos. El factor Q total será utilizado para calcular sensibilidad (P_{REC}) del fotoreceptor y de los amplificadores ópticos.

3.5.1.- Cálculo del Factor Q Total para los Diferentes Tramos.

A partir de los resultados de las penalidades de potencia de los diferentes tramos, se obtiene el respectivo cálculo del factor Q total, el cual se determina en las siguientes tablas.

- **Para el tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.**

Tabla 3.77

Factor Q Total a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L₁
(MTSO Canaima – Venepal)

	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5Gbps			SMF-28 @ 10Gbps			LEAF @ 2.5Gbps			LEAF @ 10Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Penalidad de Potencia Total (dB)	6.05	6.35	7.55	9.75	10	11.2	5.67	6.47	8.17	5.97	6.76	8.47

Tabla 3.77 (continuación)

	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Q Ideal para un BER de 10^{-12} (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	14.55	14.85	16.05	18.25	18.5	19.7	14.17	14.97	16.67	14.47	15.26	16.9
Q Total (lineal)	28.5	30.5	40.27	66.8	70.7	93.3	26.12	31.4	46.45	27.9	33.5	49.7

Tabla 3.78

Factor Q Total a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L₂
(Venepal – MTSO Valencia)

	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Penalidad de Potencia Total (dB)	4.8	5.1	6.3	5.49	5.79	6.99	4.75	5.55	7.25	4.78	5.58	7.28
Q Ideal para un BER de 10^{-12} (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	13.3	13.6	14.8	13.9	14.29	15.49	13.25	14.05	15.75	13.28	14.08	15.78
Q Total (lineal)	21.3	22.9	30.1	25	26.8	35.3	21.1	25.4	37.58	21.28	25.5	37.8

Tabla 3.79

Factor Q Total a la altura del Fotoreceptor para el Tramo L₂
(Venepal – MTSO Valencia)

	Fotoreceptor											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Penalidad de Potencia Total (dB)	6.14	6.72	8.62	6.83	7.41	9.31	6.09	7.17	9.57	6.12	7.2	9.6
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	14.6 4	15.22	17.12	15.33	15.91	17.81	14.59	15.67	18.07	14.62	15.7	18.1
Q Total (lineal)	29.1	33.26	51.5	34.1	38.9	60.3	28.7	36.8	64.1	28.9	37.1	64.5

Tabla 3.80

Factor Q Total a la altura del Preamplificador Optico para el Tramo L₃
(MTSO Canaima – MTSO Valencia)

	Preamplificador Optico											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Penalidad de Potencia Total (dB)	7.87	8.17	9.37	13	13.3	14.5	7.18	7.98	9.68	7.7	8.5	10.2
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	16.37	16.67	17.87	21.5	21.8	23	15.68	16.48	18.18	16.2	17	18.7
Q Total (lineal)	43.3	46.4	61.2	141.2	151.3	199.5	36.9	44.4	65.7	41.6	50.1	74.1

Tabla 3.81

Factor Q Total a la altura del Fotoreceptor para el Tramo L₃
(MTSO Canaima – MTSO Valencia)

	Fotoreceptor											
	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Penalidad de Potencia Total (dB)	9.2	9.78	11.68	14.3	14.9	16.8	8.52	9.6	12	9.04	10.1	12.5
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	17.7	18.28	20.18	22.8	23.4	25.3	17.02	18.1	20.5	17.54	18.6	21
Q Total (lineal)	58.8	67.2	104.2	190.5	218.7	338.8	50.3	64.5	112.2	56.7	72.4	125.8

- Para el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

Tabla 3.82

Factor Q Total para el Tramo L₄
(MTSO Valencia – Puerto Cabello)

	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	4.75	5.55	4.81	5.61	6.09	7.17	6.15	7.23
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	13.25	14.05	13.31	14.11	14.59	15.67	14.65	15.73
Q Total (lineal)	21.13	25.4	21.42	25.76	28.77	36.89	29.17	34.41

Tabla 3.83

Factor Q Total para el Tramo L₆
(MTSO Barquisimeto – San Felipe)

	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	4.75	5.55	4.83	5.63	6.09	7.17	6.17	7.25
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	13.25	14.05	13.33	14.13	14.59	15.67	14.67	15.75
Q Total (lineal)	21.13	25.4	21.52	25.88	28.77	36.89	29.3	37.58

Tabla 3.84

Factor Q Total para el Tramo L₇
(MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto)

	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	8.2	9	8.93	9.73	9.5	10.6	10.2	11.3
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	16.7	17.5	17.43	18.23	18	19.1	18.7	19.8
Q Total (lineal)	46.77	56.23	55.33	66.52	63	81.2	74.1	95.4

Tabla 3.85

Factor Q Total para el Tramo L₈
(MTSO Valencia – San Felipe)

	Preamplificador Optico			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	6.48	7.27	6.85	7.64
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	14.98	15.77	15.35	16.14
Q Total (lineal)	31.47	37.75	34.27	41.11

Tabla 3.86

Factor Q Total para el Tramo L₉
(MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello)

	Preamplificador Optico			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	6.48	7.27	6.88	7.67
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	14.98	15.77	15.38	16.17
Q Total (lineal)	31.47	37.75	34.51	41.39

- Para el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Tabla 3.87

Factor Q Total para el Tramo L₁₁
(MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda)

	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	4.75	5.55	4.82	5.62	6.09	7.17	6.16	7.24
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	13.25	14.05	13.32	14.12	14.59	15.67	14.66	15.74
Q Total (lineal)	21.13	25.4	21.47	25.82	28.77	36.89	29.24	37.49

Tabla 3.88

Factor Q Total para el Tramo L₁₂
(MTSO Barquisimeto – El Venado)

	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	6.2	7	6.89	7.69	7.54	8.62	8.23	9.31
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	14.7	15.5	15.39	16.19	16.04	17.12	16.73	17.81
Q Total (lineal)	29.5	35.4	34.5	41.5	40.1	51.5	47	60.3

Tabla 3.89

Factor Q Total para el Tramo L₁₃
(MTSO Maracaibo – El Venado)

	Preamplificador Optico				Fotoreceptor			
	LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16	N=8	N=16
Penalidad de Potencia Total (dB)	6.46	7.26	6.65	7.45	7.8	8.88	7.99	9.07
Q Ideal para un BER de 10⁻¹² (dB)	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
Q Total (dB)	14.96	15.76	15.15	15.95	16.3	17.38	16.49	17.57
Q Total (lineal)	31.33	37.67	32.73	39.35	42.65	54.7	44.56	57.14

3.5.2.- Cálculo de la P_{REC} en el Preamplificador Optico y en el Fotoreceptor para un Factor Q Ideal y Total.

Una vez obtenido los valores resultantes del factor Q ideal y total para los diferentes tramos, se procede al cálculo de la potencia de recepción (P_{REC}) en el preamplificador óptico y en el fotoreceptor. Es muy importante destacar que esta P_{REC} representa la mínima potencia que se requiere para mantener un BER de 10⁻¹². Típicamente cuando se utiliza un preamplificador óptico, el tipo de fotoreceptor utilizado es del tipo PIN. Para mayor información sobre los conceptos y ecuaciones concernientes a la P_{REC} referirse a la sección 2.7 (Desempeño del Sistema de Transmisión).

- **Cálculo de la P_{REC} en el Preamplificador Optico para un Factor Q Ideal.**

La P_{REC} en el preamplificador óptico se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Q_{AMP}^2 = \frac{P_{OUT}}{nh\nu(G-1)(NF)\Delta f} = \frac{P_{REC}G}{nh\nu(G-1)(NF)\Delta f} = \frac{P_{REC}}{nh\nu(NF)\Delta f} \quad (3.47)$$

$$P_{REC} = Q_{AMP}^2 nh\nu(NF)\Delta f \quad (3.48)$$

Donde:

- n es el número de amplificadores ópticos.
- h es la constante de Planck ($6.6256 \cdot 10^{-34}$ J/seg).
- ν es la frecuencia de la portadora óptica o canal, donde se toma como referencia a $\nu=193.1$ THz.
- NF es la figura de ruido del amplificador óptico y su valor típico es de 5 dB.
- Δf es el ancho de banda eléctrico del receptor, donde para un código NRZ:

$$\Delta f = \frac{BitRate}{2} \quad (3.49)$$

Como referencia se calcula previamente la P_{REC} con el factor Q ideal (Q=7) para un BER de $1 \cdot 10^{-12}$, para un $n=1$, y con una tasa de transmisión (B_R) de 2.5 Gbps y 10 Gbps.

- Para un $B_R=2.5$ Gbps

$$P_{REC} = Q_{AMP}^2 h\nu(NF)\Delta f = (7)^2 (6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ J / Seg}) (193.1 \text{ THz}) (3.16) (1.25 \text{ GHz})$$

$$P_{REC} = 2.47 \cdot 10^{-5} \text{ mW} \equiv -46 \text{ dBm}$$

- Para un $B_R=10$ Gbps

$$P_{REC} = Q_{AMP}^2 h\nu(NF)\Delta f = (7)^2 (6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ J / Seg}) (193.1 \text{ THz}) (3.16) (5 \text{ GHz})$$

$$P_{REC} = 9.9 \cdot 10^{-5} \text{ mW} \equiv -40 \text{ dBm}$$

La P_{REC} calculada para los preamplificadores ópticos puede llegar a estar acotada por la mínima potencia de entrada del modelo de preamplificador, ya que por lo general estos tienen una potencia mínima de entrada alrededor de los -35 dBm .

- **Cálculo de la P_{REC} en el fotoreceptor para un factor Q ideal.**

Los siguientes cálculos van a definir la P_{REC} en dos tipos de fotodiodo (PIN y APD) de InGaAs, a partir del factor Q ideal para un BER= 10^{-12} en 2.5 Gbps y 10 Gbps.

- Cálculo de la P_{REC} para un fotodiodo PIN para un $B_R=2.5 \text{ Gbps}$.

$$P_{REC} = \frac{Q}{R} \sqrt{\frac{4K_B T \Delta f}{R_L}} = \frac{7}{0.85} \sqrt{\frac{4(1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ \text{ K})(298^\circ \text{ K})(1.25 \text{ GHz})}{50 \Omega}}$$

$$P_{REC} = 5.28 \cdot 10^{-3} \text{ mW} \equiv -22 \text{ dBm}$$

- Cálculo de la P_{REC} para un fotodiodo PIN para un $B_R=10 \text{ Gbps}$.

$$P_{REC} = \frac{7}{0.85} \sqrt{\frac{4(1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ \text{ K})(298^\circ \text{ K})(5 \text{ GHz})}{50 \Omega}} = 10.56 \cdot 10^{-3} \text{ mW} \equiv -19.7 \text{ dBm}$$

- Cálculo de la P_{REC} para un fotodiodo APD para un $B_R=2.5 \text{ Gbps}$.

$$P_{REC} = \frac{7}{8} \sqrt{\frac{4(1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ \text{ K})(298^\circ \text{ K})(1.25 \text{ GHz})}{50 \Omega}} = 5.6 \cdot 10^{-4} \text{ mW} \equiv -32.5 \text{ dBm}$$

- Cálculo de la P_{REC} para un fotodiodo APD para un $B_R = 10$ Gbps.

$$P_{REC} = \frac{7}{8} \sqrt{\frac{4(1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K})(298^\circ\text{K})(5\text{GHz})}{50\Omega}} = 1.12 \cdot 10^{-3} \text{ mW} \equiv -29.5 \text{ dBm}$$

En la P_{REC} obtenida para los fotoreceptores se ha considerado que el ruido térmico viene hacer el limitante en el receptor. También es importante considerar que la presencia de los demultiplexores y conmutadores ópticos antes del fotoreceptor van a proporcionar una atenuación significativa de las componentes del ruido de señal dependiente, haciéndolas despreciables. Por ejemplo, para niveles de señal recibida en el fotoreceptor por encima de -11 dBm el ruido dominante es de señal dependiente.

A continuación se presentan un conjunto de tablas donde resumen las diferentes P_{REC} que se obtuvieron para un preamplificador óptico como para un fotodiodo utilizando el valor del factor Q con penalización de potencia para los diferentes tramos.

- **Para el tramo MTSO Canaima –Tiara - Venepal – MTSO Valencia.**

Tabla 3.90

P_{REC} en el Preamplificador Optico para el Tramo L₁
(MTSO Canaima – Estación Venepal)

	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 1 0 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Q Total (lineal)	28.5	30.5	40.27	66.8	70.7	93.3	26.12	31.4	46.45	27.9	33.5	49.7
P_{REC} en Pre-Amp. Optico con Q Total y n=3 (dBm)	-29	-28.5	-26	-15.6	-15.1	-12.7	-29.8	-28.2	-24.8	-23.2	-27.6	-18.2

Tabla 3.91

P_{REC} en el Preamplificador Optico para el Tramo L_2
(Venepal – MTSO Valencia)

	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Q Total (lineal)	21.3	22.9	30.1	25	26.8	35.3	21.1	25.4	37.58	21.28	25.5	37.8
P_{REC} en Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=2$ (dBm)	-33.3	-32.7	-30.3	-25.9	-25.3	-22.9	-33.4	-31.8	-28.4	-27.3	-25.8	-22.3

Tabla 3.92

P_{REC} en el Fotoreceptor para el Tramo L_2
(Venepal – MTSO Valencia)

	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Q Total (lineal)	29.1	33.26	51.5	34.1	38.9	60.3	28.7	36.8	64.1	28.9	37.1	64.5
P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-16.5	-16	-14.1	-12.9	-12.3	-10.4	-16.6	-15.5	-13.1	-13.6	-12.5	-10.1
P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-26.3	-25.7	-23.8	-22.6	-22	-20.1	-26.3	-25.3	-22.9	-23.3	-22.2	19.8

Tabla 3.93

P_{REC} en el Preamplificador Optico para el Tramo L_3
(MTSO Canaima – MTSO Valencia)

	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Q Total (lineal)	43.3	46.4	61.2	141.2	151.3	199.5	36.9	44.4	65.7	41.6	50.1	74.1
P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=5$ (dBm)	-23.2	-22.6	-20.2	-6.9	-6.3	-3.9	-24.6	-23	-19.6	-17.5	-15.9	-12.5

Tabla 3.94

P_{REC} en el Fotorreceptor para el Tramo L_3
(MTSO Canaima – MTSO Valencia)

	SMF-28 @ 2.5 Gbps			SMF-28 @ 10 Gbps			LEAF @ 2.5 Gbps			LEAF @ 10 Gbps		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
Q Total (lineal)	58.8	67.2	104.2	190.5	218.7	338.8	50.3	64.5	112.2	56.7	72.4	125.8
P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-13.5	-12.9	-11	-5.4	-4.8	-2.9	-14.2	-13.1	-10.7	-10.7	-9.6	-7.2
P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-23.2	-22.6	-20.7	-15.1	-14.5	-12.6	-23.9	-22.8	-20.4	-20.4	-19.3	-16.9

- Para el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

Tabla 3.95

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotorreceptor para el Tramo L_4
(MTSO Valencia – Puerto Cabello)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	21.13	25.4	21.42	25.76
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=2 (dBm)	-33.45	-31.85	-27.31	-25.71
Fotorreceptor	Q Total (lineal)	28.77	36.89	29.17	34.41
	P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-16.63	-15.55	-13.58	-12.87
	P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-26.37	-25.3	-23.3	-22.59

Tabla 3.96

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L₆
(MTSO Barquisimeto – San Felipe)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	21.13	25.4	21.52	25.88
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=2 (dBm)	-33.45	-31.85	-27.27	-25.67
Fotoreceptor	Q Total (lineal)	28.77	36.89	29.3	37.58
	P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-16.63	-15.55	-13.57	-12.48
	P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-26.37	-25.3	-23.29	-22.2

Tabla 3.97

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L₇
(MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	46.77	56.23	55.33	66.52
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=6 (dBm)	-21.78	-20.18	-14.3	-12.7
Fotoreceptor	Q Total (lineal)	63	81.2	74.1	95.4
	P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-13.23	-12.13	-9.54	-8.44
	P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-22.9	-21.8	-19.26	-18.16

Tabla 3.98

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotorreceptor para el Tramo L₈
(MTSO Valencia – San Felipe)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	31.47	37.75	34.27	41.11
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=4 (dBm)	-26.98	-25.4	-20.22	-18.64

Tabla 3.99

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotorreceptor para el Tramo L₉
(MTSO Barquisimeto – Puerto Cabello)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	31.47	37.75	34.51	41.39
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=4 (dBm)	-26.98	-25.4	-20.16	-18.58

- Para el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Tabla 3.100

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotorreceptor para el Tramo L₁₁
(MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	21.13	25.4	21.47	25.82
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=2 (dBm)	-33.45	-31.85	-27.29	-25.69
Fotorreceptor	Q Total (lineal)	28.77	36.89	29.24	37.49
	P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-16.63	-15.55	-14.32	-12.49
	P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-26.37	-25.3	-23.29	-22.21

Tabla 3.101

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotorreceptor para el Tramo L₁₂
(MTSO Barquisimeto – El Venado)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	29.5	35.4	34.5	41.5
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=4 (dBm)	-27.9	-25.96	-20.16	-18.56
Fotorreceptor	Q Total (lineal)	40.1	51.5	47	60.3
	P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-15.19	-14.1	-11.51	-10.43
	P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-24.93	-23.85	-21.23	-20.1

Tabla 3.102

P_{REC} del Preamplificador Optico y del Fotoreceptor para el Tramo L₁₃
(MTSO Maracaibo – El Venado)

		LEAF @ 2.5 Gbps		LEAF @ 10 Gbps	
		N=8	N=16	N=8	N=16
Preamplificador	Q Total (lineal)	31.33	37.67	32.73	39.35
	P_{REC} en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=4 (dBm)	-27.02	-25.42	-20.62	-19.02
Fotoreceptor	Q Total (lineal)	42.65	54.7	44.56	57.14
	P_{REC} en el PIN con Q Total (dBm)	-14.92	-13.84	-11.74	-10.66
	P_{REC} en el APD con Q Total (dBm)	-24.66	-23.58	-21.46	-20.38

3.6.- Cálculo del Presupuesto de Potencia para los Diferentes Tramos.

Una vez que se han obtenido todos los resultados referentes a la sensibilidad del preamplificador óptico y del fotoreceptor bajo el efecto de las penalidades de potencia, y además contar con toda la información sobre los diferentes dispositivos ópticos que forman parte del sistema DWDM, como son las ganancias y las pérdidas, se puede estimar el respectivo presupuesto de potencia. Es importante destacar que el margen de seguridad que se ha asumido (5 dB) para el cálculo del presupuesto de potencia esta definido en las Especificaciones y Lineamientos para el Diseño, Ingeniería y Construcción del Proyecto de Interurbano de Fibra Optica de Telcel BellSouth (versión 1).

El presupuesto de potencia para los diferentes tramos se va a presentar a través de dos tipos de tablas, las cuales son denominadas como parte I y parte II.

A partir de la tabla parte I, se puede obtener la potencia de recepción (P_{REC}) en el preamplificador óptico y en el fotoreceptor, para luego ser comparada respectivamente en la tabla parte II con la P_{REC} requerida (sensibilidad), la cual ha sido calculada a partir del factor Q y del ruido de emisión espontánea acumulado de los n preamplificadores, y finalmente estimar el margen del presupuesto de potencia.

En la tabla parte II, las celdas de color verde indican una alta factibilidad de la transmisión DWDM para las diferentes cantidades de canales, tipos de fibra y velocidades de transmisión. En cambio, las celdas de color rojo indican que no es posible la transmisión DWDM, o que la misma puede tener un desempeño cercano o mucho mayor al de un BER de 10^{-12} .

3.6.1.- Cálculo del Presupuesto de Potencia para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

El sistema DWDM diseñado para este tramo consta en la estación MTSO Canaima de un multiplexor y un demultiplexor DWDM terminal con capacidad de 32 canales, los cuales van a multiplexar y demultiplexar los canales que van y vienen desde la estación MTSO Valencia, un OADM en la Estación Venepal con capacidad para insertar y extraer hasta 4 canales del agregado DWDM que va y viene de MTSO Valencia; y finalmente un multiplexor y un demultiplexor DWDM terminal con capacidad de 32 canales en la estación MTSO Valencia, los cuales van a multiplexar y demultiplexar los canales que van y vienen desde la estación Venepal y de la estación MTSO Canaima.

En la siguiente figura se muestran las diferentes características y dispositivos ópticos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Valencia – Tiara - Venepal - MTSO Canaima.

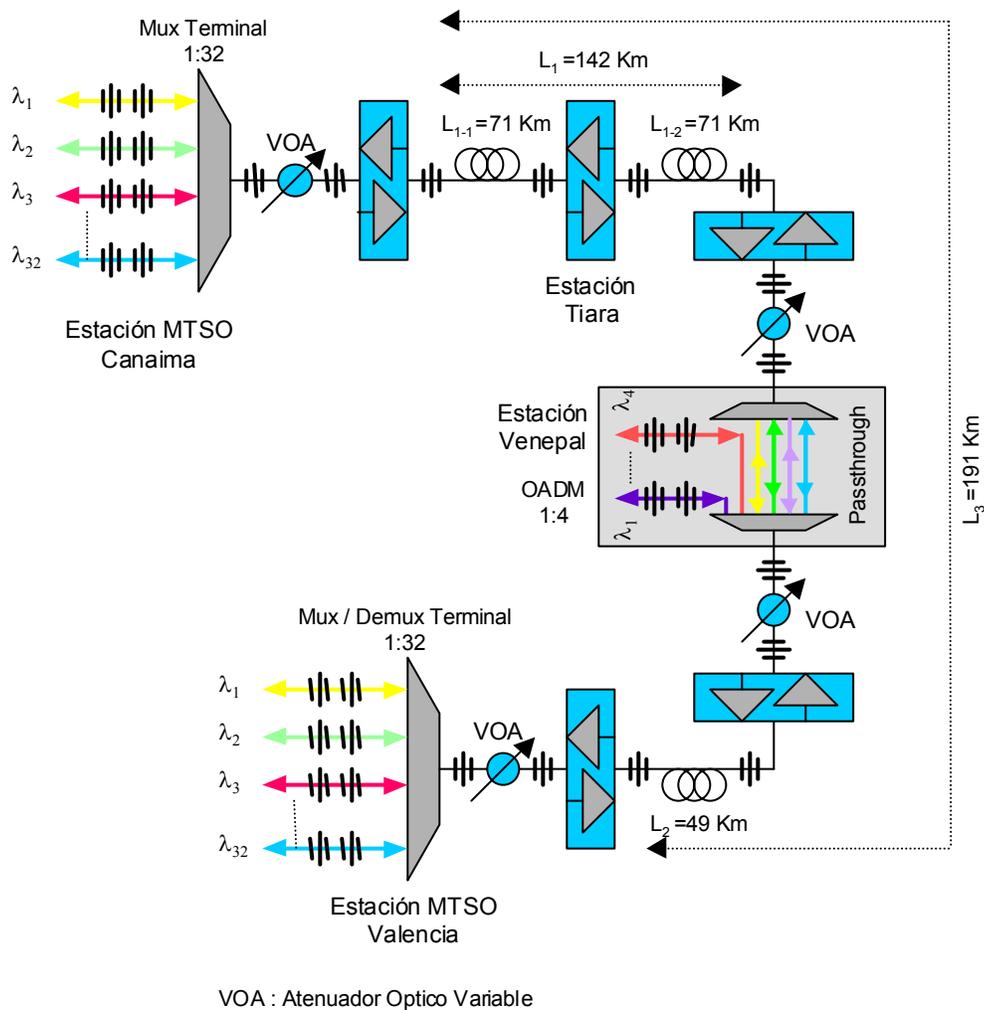


Figura 3.10 Sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

El presupuesto de potencia debe ser analizado en ambas direcciones, ya que existe una diferencia de distancia en los tramos extremos L_1 (142 Km) y L_2 (49 Km), lo cual conlleva a que la potencia de recepción en los preamplificadores y en los fotoreceptores de las estaciones MTSO Valencia y MTSO Canaima sean diferentes.

Es importante acotar, que la presencia de los atenuadores ópticos variables (VOA) es para limitar un poco la potencia de la señal DWDM proveniente del

preamplificador, de modo de no saturar demasiado el booster y de proteger de una condición de overload a los fotoreceptores.

3.6.1.1.- Presupuesto de Potencia MTSO Canaima Dirección MTSO Valencia.

A continuación se determinan los presupuestos de potencia para los tramos L_1 y L_3 en la dirección MTSO Canaima \Rightarrow MTSO Valencia.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L_1 y L_3 .**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia (parte I) del tramo L_3 (MTSO Canaima - Tiara - Venepal - MTSO Valencia) y los presupuestos de potencia (parte II) de los tramos L_3 y L_1 (MTSO Canaima - Tiara - Celda Venepal). El presupuesto de potencia del tramo L_3 (parte I) va a permitir evaluar el presupuesto de potencia (parte II) del tramo L_1 (específicamente L_{1-2}), de manera de determinar si de la estación Venepal en adelante existe alguna limitación en la capacidad del agregado DWDM proveniente desde la estación MTSO Canaima, como consecuencia del deterioro del OSNR.

Tabla 3.103

Presupuesto de Potencia del Tramo L_3 (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P_{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Canaima	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Canaima			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8

Tabla 3.103 (continuación)

Fibra del tramo L ₁₋₁	71	0.25/km	17.75	-11.95
Empalmes del tramo L ₁₋₁	26	0.07	1.82	-13.77
Conectores	1	0.2	0.2	-13.97
ILA Estación Tiara			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₋₂	71	0.25/km	17.75	-11.95
Empalmes del tramo L ₁₋₂	26	0.07	1.82	-13.77
Conectores	1	0.2	0.2	-13.97
Pre-amplificador Estación Venepal			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Atenuador Variable	1	6	6	-0.2
Conectores	1	0.2	0.2	-0.4
Passthrough OADM Venepal	1	5	5	-5.4
Conectores	2	0.2	0.4	-5.8
Booster Estación Venepal			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₂	49	0.25/km	12.25	-6.45
Empalmes del tramo L ₂	18	0.07	1.26	-7.71
Conectores	1	0.2	0.2	-7.91
Margen de Seguridad de L ₂ y L ₃			5	-12.91
Pre-amplificador MTSO Valencia			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Atenuador Variable	1	3	3	2.8

Tabla 3.103 (continuación)

Conectores	1	0.2	0.2	2.6
Demux Terminal MTSO Valencia	1	10	10	-7.4
Conectores	2	0.2	0.4	-7.8
P_{REC} del Fotodiodo				-7.8

Para elaborar el presupuesto de potencia (parte II) del tramo L_1 se requiere tomar el valor de la potencia de recepción del preamplificador del tramo L_{1-2} (-13.97 dBm), para así determinar la potencia de recepción obtenida en el preamplificador, en la cual se tiene que considerar el respectivo margen de seguridad (5 dB), y para ello se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{REC-OBTENIDA} = P_{IN-PREAMP} + MS \text{ de } L_1 = -13.97dBm - 5dBm = -18.97dBm$$

Tabla 3.104

Presupuesto de Potencia del Tramo L_1 (Parte II)

		P_{REC} obtenida en el Pre-Amp. Optico (dBm)	P_{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=3$ (dBm)
SMF-28 @ 2.5 Gbps	N=8	-18.97	-29
	N=16	-18.97	-28.5
	N=32	-18.97	-26
SMF-28 @ 10 Gbps	N=8	-18.97	-15.6
	N=16	-18.97	-15.1
	N=32	-18.97	-12.7

Tabla 3.104 (continuación)

LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-18.97	-29.8
	N=16	-18.97	-28.2
	N=32	-18.97	-24.8
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-18.97	-23.2
	N=16	-18.97	-27.6
	N=32	-18.97	-18.2

Tabla 3.105

Presupuesto de Potencia del Tramo L₃ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-Amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. con Q Total y n=5 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
SMF-28 @ 2.5 Gbps	N=8	-12.91	-23.2	-7.8	-13.5	5.7
	N=16	-12.91	-22.6	-7.8	-12.9	5.1
	N=32	-12.91	-20.2	-7.8	-11	3.2
SMF-28 @ 10 Gbps	N=8	-12.91	-6.9	-7.8	-5.4	-2.4
	N=16	-12.91	-6.3	-7.8	-4.8	-3
	N=32	-12.91	-3.9	-7.8	-2.9	-4.9
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-12.91	-24.6	-7.8	-14.2	6.4
	N=16	-12.91	-23	-7.8	-13.1	5.3
	N=32	-12.91	-19.6	-7.8	-10.7	2.9
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-12.91	-17.5	-7.8	-10.7	2.9
	N=16	-12.91	-15.9	-7.8	-9.6	1.8
	N=32	-12.91	-12.5	-7.8	-7.2	-0.6

Análisis para los Tramos L_1 y L_3 .

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L_1 se observa que el nivel de la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L_{1-2} (-18.97 dBm) esta por encima de la potencia de recepción requerida (Q total y $n=3$) para los casos donde se tiene 32 canales a 2.5 Gbps con fibra SMF-28, 32 canales a 2.5 Gbps con fibra LEAF y 16 canales a 10 Gbps con fibra LEAF; de manera que a partir de este preamplificador el agregado DWDM va a estar acotado por las capacidades antes mencionadas.

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L_3 se tiene que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L_2 (-12.91 dBm) esta por encima de la potencia de recepción requerida (Q total y $n=5$) para los casos donde se tiene 32 canales a 2.5 Gbps con fibra SMF-28, 32 canales a 2.5 Gbps con fibra LEAF y 16 canales a 10 Gbps con fibra LEAF; y en cuanto a la potencia de recepción obtenida en el fotodiodo (-7.8 dBm), esta se encuentra por encima de la potencia requerida para permitir una transmisión con una capacidad de 32 canales a 2.5 Gbps con fibra SMF-28, 32 canales a 2.5 Gbps con fibra LEAF y 16 canales a 10 Gbps con fibra LEAF. Es importante señalar, que la capacidad del agregado DWDM del tramo L_3 va a estar principalmente acotada por las cantidades de canales y velocidades de transmisión que permiten los preamplificadores ópticos de los tramos L_{1-2} y L_2 , por lo tanto, el sistema DWDM a implementar desde la estación MTSO Canaima hasta la estación MTSO Valencia puede soportar 32 canales a 2.5 Gbps con fibra SMF-28, 32 canales a 2.5 Gbps con fibra LEAF y 16 canales a 10 Gbps con fibra LEAF, con una tasa de BER 10^{-12} .

La capacidad del sistema DWDM a implementar en el tramo L_2 (Venepal – MTSO Valencia) va a estar acotada por la capacidad del tramo L_3 , en vista de que los canales que inserta el OADM de la estación Venepal lo hace sobre el agregado DWDM que proviene desde MTSO Canaima, y el cual hace passthrough en dicho OADM.

3.6.1.2.- Presupuesto de Potencia MTSO Valencia Dirección MTSO Canaima.

A continuación se determinan los presupuestos de potencia para los tramos L₂ y L₃ en la dirección MTSO Valencia ⇒ MTSO Canaima.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₂.**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia del tramo L₂ (MTSO Valencia – Venepal).

Tabla 3.106
Presupuesto de Potencia del Tramo L₂ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Valencia	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Valencia			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₂	49	0.25/km	12.25	-6.45
Empalmes del tramo L ₂	18	0.07	1.26	-7.71
Conectores	1	0.2	0.2	-7.91
Margen de Seguridad de L ₂			5	-12.91
Pre-amplificador Estación Venepal			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Atenuador Variable	1	6	6	-0.2

Tabla 3.106 (continuación)

Conectores	1	0.2	0.2	-0.4
Drop OADM Venepal	1	5	5	-5.4
Conectores	2	0.2	0.4	-5.8
P_{REC} del Fotodiodo				-5.8

Tabla 3.107

Presupuesto de Potencia del Tramo L_2 (Parte II)

		P_{REC} obtenida en el Pre-Amp. Óptico (dBm)	P_{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=2$ (dBm)	P_{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P_{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
SMF-28 @ 2.5 Gbps	N=8	-12.91	-33.3	-5.8	-16.5	10.7
	N=16	-12.91	-32.7	-5.8	-16	10.2
	N=32	-12.91	-30.3	-5.8	-14.1	8.3
SMF-28 @ 10 Gbps	N=8	-12.91	-25.9	-5.8	-12.9	7.1
	N=16	-12.91	-25.3	-5.8	-12.3	6.5
	N=32	-12.91	-22.9	-5.8	-10.4	4.6
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-12.91	-33.4	-5.8	-16.6	10.8
	N=16	-12.91	-31.8	-5.8	-15.5	9.7
	N=32	-12.91	-28.4	-5.8	-13.1	7.3
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-12.91	-27.3	-5.8	-13.6	7.8
	N=16	-12.91	-25.8	-5.8	-12.5	6.7
	N=32	-12.91	-22.3	-5.8	-10.1	4.3

Análisis para el Tramo L_2 .

Como se puede apreciar en la tabla anterior (parte II), la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L_2 (-12.91 dBm) es alta en

comparación con los diferentes niveles de potencia de recepción requerida (Q total y $n=2$), tanto así, que no hay ningún tipo de restricción para los dos tipos de fibra, para las velocidades de transmisión de 2.5 Gbps y 10 Gbps, y para las diferentes cantidades de canales.

En cuanto a la comparación de la potencia de recepción obtenida en el fotodiodo PIN (-5.8 dBm) con la potencia recepción requerida (Q total), se observa que tampoco existe ninguna limitación.

En conclusión, la capacidad del agregado DWDM desde la estación MTSO Valencia hasta la estación Venepal puede soportar hasta 32 canales a 10 Gbps a una tasa de BER de 10^{-12} , utilizando tanto fibra SMF-28 como LEAF.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L_3 .**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia del tramo L_3 (Venepal – MTSO Canaima).

Tabla 3.108
Presupuesto de Potencia del Tramo L_3 (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P_{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Valencia	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Valencia			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L_2	49	0.25/km	12.25	-6.45
Empalmes del tramo L_2	18	0.07	1.26	-7.71

Tabla 3.108 (continuación)

Conectores	1	0.2	0.2	-7.91
Pre-amplificador Estación Venepal			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Atenuador Variable	1	6	6	-0.2
Conectores	1	0.2	0.2	-0.4
Passthrough OADM Venepal	1	5	5	-5.4
Conectores	2	0.2	0.4	-5.8
Booster Estación Venepal			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₋₂	71	0.25/km	17.75	-11.95
Empalmes del tramo L ₁₋₂	26	0.07	1.82	-13.77
Conectores	1	0.2	0.2	-13.97
ILA Estación Tiara			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₋₁	71	0.25/km	17.75	-11.95
Empalmes del tramo L ₁₋₁	26	0.07	1.82	-13.77
Conectores	1	0.2	0.2	-13.97
Margen de Seguridad de L ₁₋₁ y L ₃			5	-18.97
Pre-amplificador MTSO Canaima			-22	3.03
Conectores	1	0.2	0.2	2.83
Atenuador Variable	1	0	0	2.83
Conectores	1	0.2	0.2	2.63
Demux Terminal MTSO Canaima	1	10	10	-7.37
Conectores	2	0.2	0.4	-7.77
P _{REC} del Fotodiodo				-7.77

Tabla 3.109

Presupuesto de Potencia del Tramo L₃ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-Amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=5 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
SMF-28 @ 2.5 Gbps	N=8	-18.97	-23.2	-7.77	-13.5	5.73
	N=16	-18.97	-22.6	-7.77	-12.9	5.13
	N=32	-18.97	-20.2	-7.77	-11	3.23
SMF-28 @ 10 Gbps	N=8	-18.97	-6.9	-7.77	-5.4	-2.37
	N=16	-18.97	-6.3	-7.77	-4.8	-2.97
	N=32	-18.97	-3.9	-7.77	-2.9	-4.87
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-18.97	-24.6	-7.77	-14.2	6.43
	N=16	-18.97	-23	-7.77	-13.1	5.33
	N=32	-18.97	-19.6	-7.77	-10.7	2.93
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-18.97	-17.5	-7.77	-10.7	2.93
	N=16	-18.97	-15.9	-7.77	-9.6	1.83
	N=32	-18.97	-12.5	-7.77	-7.2	-0.57

Análisis para el Tramo L₃.

La potencia de recepción obtenida en el preamplificador del tramo L₁₋₁ (-18.97 dBm) esta por encima de la potencia de recepción requerida (Q total y n=5) en los casos donde el agregado DWDM puede alcanzar a tener 32 canales a 2.5 Gbps tanto en fibra SMF-28 como LEAF.

En cuanto a la diferencia entre la potencia de recepción obtenida y la potencia requerida en el fotodiodo PIN, se observa que la mayor limitación ocurre cuando el agregado DWDM contiene 32 canales a 10 Gbps con fibra LEAF y cualquier cantidad de canales a una velocidad de transmisión de 10 Gbps sobre fibra SMF-28.

En conclusión, el agregado DWDM puede soportar una capacidad desde MTSO Valencia hasta MTSO Canaima de hasta 32 canales a 2.5 Gbps utilizando tanto fibra SMF-28 como LEAF.

3.6.1.3.- Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.

Asignación final de longitudes de onda:

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes presupuestos de potencia se establecen las siguientes figuras, las cuales muestran un resumen de la capacidad que un sistema DWDM puede implementar en los diferentes tramos, así como también, una posible asignación de longitudes de onda.

- Si se implementa un sistema DWDM entre los tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

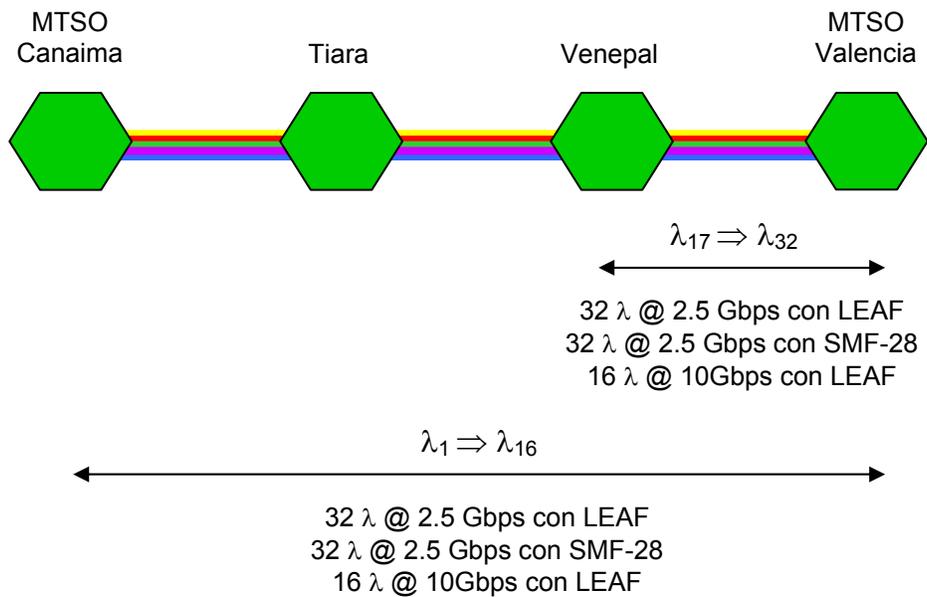


Figura 3.11 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Canaima – Tiara – Venepal - MTSO Valencia.

- Si se implementa un sistema DWDM en el tramo MTSO Valencia – Venepal, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

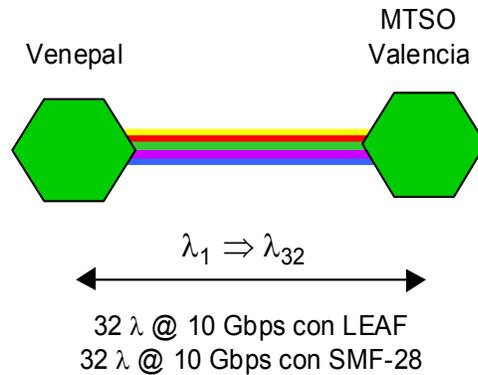


Figura 3.12 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Valencia – Venepal.

Alternativas de Configuración

Una configuración ideal a implementar en el tramo L_1 consistiría en eliminar el amplificador óptico ILA ubicado en la estación Tiara (mitad del trayecto), de modo de establecer un trayecto directo entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal, pero esto no es posible, ya que la atenuación y las penalidades de potencia del tramo son tan elevadas que la potencia de recepción obtenida en la entrada del preamplificador óptico está muy por debajo de la mínima sensibilidad requerida por el preamplificador para permitir una transmisión DWDM a una tasa de BER de 10^{-12} .

Otra configuración que se puede implementar consiste en prescindir de los preamplificadores ópticos del tramo L_2 , permitiendo así el ahorro de un dispositivo óptico, pero esto trae como desventaja que el nivel de la potencia de recepción obtenida en el fotodiodo PIN es tan baja que no permite ningún tipo de transmisión en el sistema DWDM, pero si se utiliza un fotodiodo del tipo APD se aumentaría la sensibilidad y de este modo se podría establecer una transmisión DWDM pero con

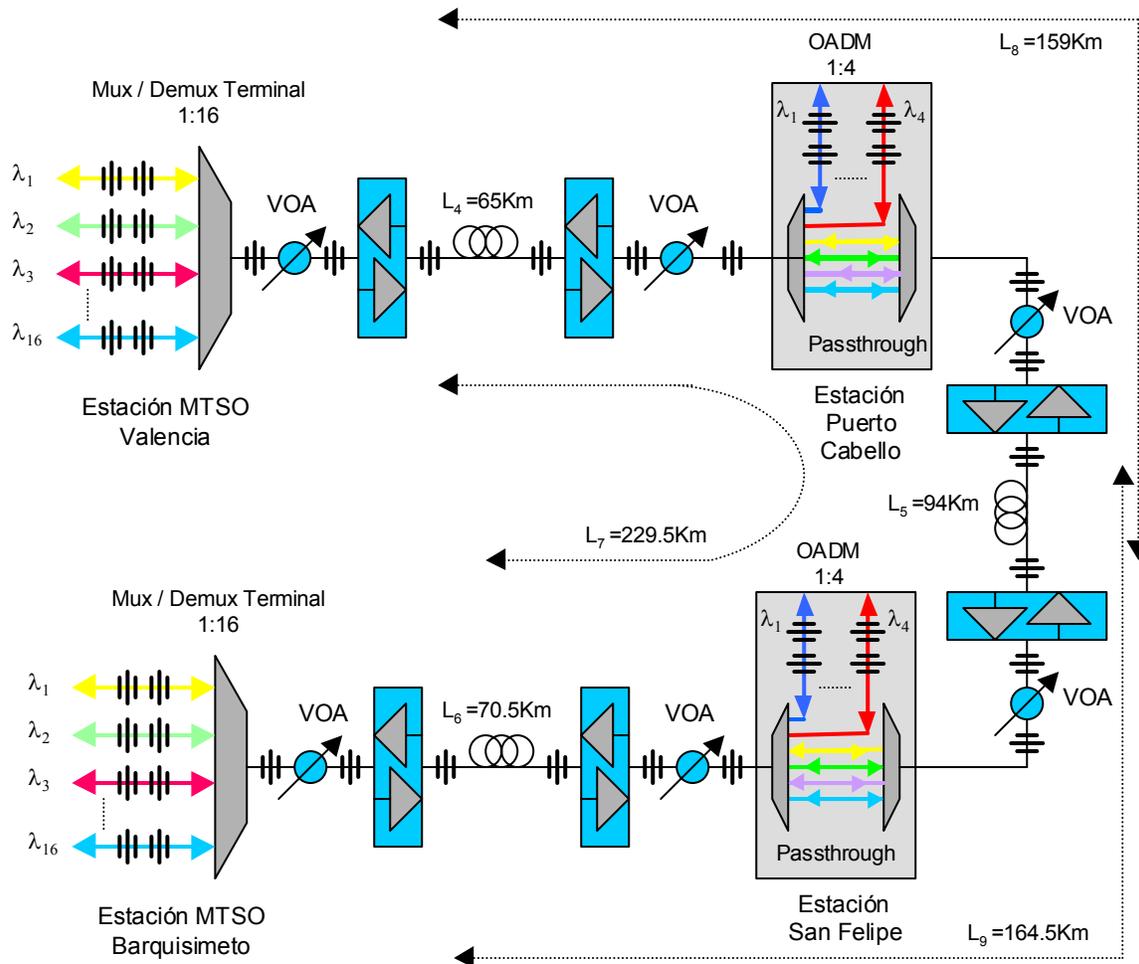
una capacidad alrededor de 8 canales con velocidades de transmisión de 2.5 Gbps y sobre fibra del tipo LEAF.

En el caso de querer implementar una transmisión DWDM con canales a velocidades de 10 Gbps utilizando fibra monomodo estándar SMF-28 entre la estación MTSO Canaima Y MTSO Valencia, se requiere utilizar unidades compensadoras de dispersión (DCU), ya que penalidad de potencia producto de la dispersión cromática en los tramos L_1 y L_3 es muy elevada. La ubicación de la unidad compensadora de dispersión podría ser la estación Tiara, cuando la transmisión es en la dirección MTSO Canaima – MTSO Valencia, y la estación Venepal, cuando la transmisión es en la dirección MTSO Valencia – MTSO Canaima. Un detalle importante a considerar en la instalación de las unidades compensadoras de dispersión son las pérdidas de inserción, por lo tanto, se recomienda ser instalada entre un preamplificador y un booster.

3.6.2.- Presupuesto de Potencia para el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

El sistema DWDM diseñado para este tramo consta en la estación MTSO Valencia de un multiplexor y un demultiplexor DWDM terminal con capacidad de 16 canales, los cuales van a multiplexar y demultiplexar los canales que van y vienen de las estaciones Puerto Cabello y MTSO Barquisimeto; un OADM en la estación Puerto Cabello con capacidad para extraer hasta 4 canales del agregado DWDM proveniente de MTSO Valencia e insertar hasta 4 canales en el agregado DWDM proveniente de MTSO Barquisimeto con dirección MTSO Valencia; un OADM en la estación San Felipe con capacidad de insertar hasta 4 canales en el agregado DWDM proveniente de MTSO Valencia con dirección MTSO Barquisimeto y extraer hasta 4 canales del agregado DWDM proveniente de MTSO Barquisimeto; y finalmente un multiplexor y un demultiplexor DWDM terminal con capacidad de 16 canales en la estación MTSO Barquisimeto, los cuales van a multiplexar y demultiplexar los canales que van y vienen de las estaciones San Felipe y MTSO Valencia.

En la siguiente figura se muestran las diferentes características y dispositivos ópticos que forman parte del sistema DWDM implementado en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.



VOA : Atenuador Optico Variable

Figura 3.13 Sistema DWDM implementado en tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.

El presupuesto de potencia para este tramo debe ser analizado en ambas direcciones, ya que existe una diferencia de distancia en los tramos extremos L_4 (65 Km) y L_6 (70.5 Km), lo cual conlleva a que la potencia de recepción en los

preamplificadores y en los fotoreceptores de las estaciones MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto sean diferentes. Otra consecuencia de la diferencia de distancia entre L₄ y L₆, es que las penalidades de potencia en L₈ y L₉ son distintas, por lo tanto, para evaluar la potencia de recepción de los preamplificadores del tramo L₅, se requiere hacerlo en ambas direcciones. A continuación se determinan los respectivos presupuestos de potencia.

3.6.2.1.- Presupuesto de Potencia MTSO Valencia Dirección MTSO Barquisimeto.

A continuación se determinan los presupuestos de potencia para los tramos L₄, L₇ y L₈ en la dirección MTSO Valencia ⇒ MTSO Barquisimeto.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₄.**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia del tramo L₄ (MTSO Valencia – Puerto Cabello).

Tabla 3.110
Presupuesto de Potencia del Tramo L₄ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Valencia	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Valencia			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₄	65	0.25/km	16.25	-10.45
Empalmes del tramo L ₄	23	0.07	1.61	-12.06

Tabla 3.110 (continuación)

Conectores	1	0.2	0.2	-12.26
Margen de Seguridad de L ₄			5	-17.26
Pre-amplificador Estación Puerto Cabello			-22	4.74
Conectores	1	0.2	0.2	4.54
Atenuador Variable	1	6	6	-1.46
Conectores	1	0.2	0.2	-1.66
Drop OADM Puerto Cabello	1	5	5	-6.66
Conectores	2	0.2	0.4	-7.06
P _{REC} del Fotodiodo				-7.06

Tabla 3.111

Presupuesto de Potencia del Tramo L₄ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=2 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-17.26	-33.45	-7.06	-16.63	9.57
	N=16	-17.26	-31.85	-7.06	-15.55	8.49
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-17.26	-27.31	-7.06	-13.58	6.52
	N=16	-17.26	-25.71	-7.06	-12.87	5.81

Análisis para el Tramo L₄.

En la tabla del presupuesto de potencia (parte II), se puede apreciar que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico (-17.26 dBm) esta por

encima de los diferentes niveles de potencia que se requiere para cuando Q es total y $n=2$, lo cual indica que el agregado DWDM a la salida del preamplificador tiene una relación señal a ruido óptica (OSNR) capaz de proporcionar una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps y con una tasa de BER de 10^{-12} . También se tiene que la potencia de recepción obtenida en el fotoreceptor (-7.06 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia requerida para cuando Q es total, de modo que tampoco existe ninguna limitación para una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps.

En resumen, el sistema DWDM puede transmitir una señal de hasta 16 canales con una velocidad de hasta 10 Gbps en el tramo MTSO Valencia - Puerto Cabello.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₇ y L₈.**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia (parte I) del tramo L₇ (MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto) y los presupuestos de potencia (parte II) de los tramos L₇ y L₈ (MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe). Hay que destacar, que el presupuesto de potencia del tramo L₇ (parte I) va a permitir evaluar el presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₈.

El presupuesto de potencia del tramo L₈ tiene como objetivo verificar la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₅, de manera de determinar si de la estación San Felipe en adelante existe alguna limitación en el agregado DWDM proveniente de MTSO Valencia en cuanto a la cantidad de canales y velocidad de transmisión, como consecuencia de la acumulación de las penalidades de potencia y del ruido de emisión espontanea, los cuales influyen en el deterioro del OSNR.

Tabla 3.112

Presupuesto de Potencia del Tramo L₇ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Valencia	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Valencia			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₄	65	0.25/km	16.25	-10.45
Empalmes del tramo L ₄	23	0.07	1.61	-12.06
Conectores	1	0.2	0.2	-12.26
Pre-amplificador Estación Puerto Cabello			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Atenuador Variable	1	6	6	-0.2
Conectores	1	0.2	0.2	-0.4
Pass-through OADM Pto. Cabello	1	5	5	-5.4
Conectores	2	0.2	0.4	-5.8
Booster Estación Puerto Cabello			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₅	94	0.25/km	23.5	-17.7
Empalmes del tramo L ₅	33	0.07	2.31	-20.1
Conectores	1	0.2	0.2	-20.21
Pre-amplificador Estación San Felipe			-22	1.79

Tabla 3.112 (continuación)

Conectores	1	0.2	0.2	1.59
Atenuador Variable	1	0	0	1.59
Conectores	1	0.2	0.2	1.39
Pass-through OADM San Felipe	1	5	5	-3.61
Conectores	2	0.2	0.4	-3.81
Booster Estación San Felipe			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₆	70.5	0.25/km	17.62	-11.82
Empalmes del tramo L ₆	25	0.07	1.75	-13.57
Conectores	1	0.2	0.2	-13.77
Margen de Seguridad de L ₆ y L ₇			5	-18.77
Pre-amplificador MTSO Barquisimeto			-22	3.23
Conectores	1	0.2	0.2	3.03
Atenuador Variable	1	0	0	3.03
Conectores	1	0.2	0.2	2.83
Demux Terminal MTSO Barquisimeto	1	10	10	-7.17
Conectores	2	0.2	0.4	-7.57
P _{REC} del Fotodiodo				-7.57

Como se indico anteriormente, para elaborar el presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₈ se requiere tomar el valor de la potencia de recepción del preamplificador del tramo L₅ (-20.21 dBm), para así determinar la potencia de recepción obtenida en el preamplificador, en la cual se tiene que considerar el respectivo margen de seguridad (5 dB), y para ello se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{REC-OBTENIDA} = P_{IN-PREAMP} + MS \text{ de } L_5 = -20.21dBm - 5dBm = -25.21dBm$$

Tabla 3.113

Presupuesto de Potencia del Tramo L₈ (Parte II)

		P_{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P_{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=4$ (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-25.21	-26.98
	N=16	-25.21	-25.4
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-25.21	-20.22
	N=16	-25.21	-18.64

Tabla 3.114

Presupuesto de Potencia del Tramo L₇ (Parte II)

		P_{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P_{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=6$ (dBm)	P_{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P_{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-18.77	-21.78	-7.57	-13.23	5.66
	N=16	-18.77	-20.18	-7.57	-12.13	4.56
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-18.77	-14.3	-7.57	-9.54	1.97
	N=16	-18.77	-12.7	-7.57	-8.44	0.87

Análisis para los Tramos L₇ y L₈.

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₈ se observa que el nivel de la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₅ (-25.21 dBm) esta por encima de la potencia de recepción requerida (Q total y $n=4$) en los casos donde el número de canales es 8 y 16, y la máxima velocidad de transmisión es de 2.5 Gbps, de manera que a partir de este preamplificador la

capacidad del agregado DWDM va a estar acotada por una cantidad máxima de 16 canales y con una velocidad de transmisión de hasta 2.5 Gbps. Todo lo antes indicado es consecuencia de las diferentes penalidades de potencia y ruido de emisión espontánea que se ha acumulado a lo largo del tramo L₄ y L₅.

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₇ se observa que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₆ (-18.77 dBm) está por encima de la potencia de recepción requerida (Q_{total} y $n=6$) en el caso en que el agregado DWDM contenga una cantidad máxima de 16 canales y con velocidades de transmisión de hasta 2.5 Gbps.

Hay que reseñar, que la limitación de 16 canales a 2.5 Gbps del tramo L₇, también va a afectar a la capacidad del sistema DWDM que se va a implementar en el tramo L₆ (San Felipe - MTSO Barquisimeto), ya que los canales que inserta el OADM de la estación San Felipe lo hace sobre el agregado DWDM proveniente de las estaciones MTSO Valencia y Puerto Cabello, el cual tiene un OSNR algo deteriorado producto de las penalidades de potencia y del ruido de emisión espontánea acumulados a lo largo del tramo L₄, L₅ y L₆.

En cuanto a la potencia de recepción obtenida en el fotodiodo (-9.57 dBm), esta se encuentra por encima de la potencia requerida para permitir una transmisión de hasta 16 canales con velocidades de 10 Gbps, pero en vista de que el nivel del OSNR a la salida del preamplificador óptico de L₅ y L₆ solo garantiza una transmisión de 16 canales a 2.5 Gbps con una tasa de BER de 10^{-12} , queda acotada la capacidad que tiene el fotoreceptor de soportar los 16 canales a 10 Gbps a 16 canales a 2.5 Gbps.

3.6.2.2.- Presupuesto de Potencia MTSO Barquisimeto dirección MTSO Valencia.

A continuación se determinan los presupuestos de potencia para los tramos L₆, L₇ y L₉ en la dirección MTSO Barquisimeto \Rightarrow MTSO Valencia.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₆.**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia del tramo L₆ (MTSO Barquisimeto - San Felipe).

Tabla 3.115
Presupuesto de Potencia del Tramo L₆ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Barquisimeto	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Barquisimeto			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₆	70.5	0.25/km	17.62	-11.82
Empalmes del tramo L ₆	25	0.07	1.75	-13.57
Conectores	1	0.2	0.2	-13.77
Margen de Seguridad de L ₆			5	-18.77
Pre-amplificador Estación San Felipe			-22	3.23
Conectores	1	0.2	0.2	3.03
Atenuador Variable	1	6	6	-2.97
Conectores	1	0.2	0.2	-3.17
Drop OADM San Felipe	1	5	5	-8.17
Conectores	2	0.2	0.4	-8.57
P _{REC} del Fotodiodo				-8.57

Tabla 3.116

Presupuesto de Potencia del Tramo L₆ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=2 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-18.77	-33.45	-8.57	-16.63	8.06
	N=16	-18.77	-31.85	-8.57	-15.55	6.98
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-18.77	-27.27	-8.57	-13.57	5
	N=16	-18.77	-25.67	-8.57	-12.48	3.91

- **Análisis para el Tramo L₆.**

En la tabla del presupuesto de potencia (parte II), se aprecia que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico (-18.77 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia que se requiere para cuando Q es total y n=2, lo cual indica que el agregado DWDM a la salida del preamplificador tiene una relación señal a ruido óptica (OSNR) capaz de proporcionar una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps y con una tasa de BER de 10⁻¹². También se tiene que la potencia de recepción obtenida en el fotoreceptor (-8.57 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia requerida para cuando Q es total, de modo que tampoco existe ninguna limitación para una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps.

En resumen, el sistema DWDM en el tramo MTSO Barquisimeto - San Felipe puede transmitir una señal de hasta 16 canales con una velocidad de hasta 10 Gbps.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₇ y L₉.**

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia (parte I) del tramo L₇ (MTSO Barquisimeto– Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Valencia) y los presupuestos de potencia (parte II) de los tramos L₇ y L₉ (MTSO Barquisimeto– Puerto Cabello – San Felipe), donde el presupuesto de potencia del tramo L₇ (parte I) va a permitir evaluar el presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₉.

El presupuesto de potencia del tramo L₉ tiene como objetivo verificar la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₅, de manera de determinar si de la estación Puerto Cabello en adelante existe alguna limitación en cuanto a la cantidad de canales y velocidad de transmisión.

Tabla 3.117

Presupuesto de Potencia del Tramo L₇ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Barquisimeto	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Barquisimeto			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₆	70.5	0.25/km	17.62	-11.82
Empalmes del tramo L ₆	25	0.07	1.75	-13.57
Conectores	1	0.2	0.2	-13.77
Pre-amplificador Estación San Felipe			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8

Tabla 3.117 (continuación)

Atenuador Variable	1	6	6	-0.2
Conectores	1	0.2	0.2	-0.4
Pass-through OADM San Felipe	1	5	5	-5.4
Conectores	2	0.2	0.4	-5.8
Booster Estación San Felipe			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₅	94	0.25/km	23.5	-17.7
Empalmes del tramo L ₅	33	0.07	2.31	-20.01
Conectores	1	0.2	0.2	-20.21
Pre-amplificador Estación Puerto Cabello			-22	1.79
Conectores	1	0.2	0.2	1.59
Atenuador Variable	1	6	6	-4.41
Conectores	1	0.2	0.2	-4.61
Pass-through OADM Pto. Cabello	1	5	5	-9.61
Conectores	2	0.2	0.4	-10.01
Booster Estación Puerto Cabello			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₄	65	0.25/km	16.25	-10.45
Empalmes del tramo L ₄	23	0.07	1.61	-12.06
Conectores	1	0.2	0.2	-12.26
Margen de Seguridad de L ₄ y L ₇			5	-17.26
Pre-amplificador MTSO Valencia			-22	4.74
Conectores	1	0.2	0.2	4.54

Tabla 3.117 (continuación)

Atenuador Variable	1	0	0	4.54
Conectores	1	0.2	0.2	4.34
Demux Terminal MTSO Valencia	1	10	10	-5.66
Conectores	2	0.2	0.4	-6.06
P_{REC} del Fotodiodo				-6.06

Para elaborar el presupuesto de potencia (parte II) del tramo L_9 se requiere tomar el valor de la potencia de recepción del preamplificador del tramo L_5 (-20.21 dBm), para así determinar la potencia de recepción obtenida en el preamplificador, en la cual se tiene que considerar el respectivo margen de seguridad (5 dB), y para ello se tiene la siguiente ecuación:

$$P_{REC-OBTENIDA} = P_{IN-PREAMP} + MS \text{ de } L_5 = -20.21dBm - 5dBm = -25.21dBm$$

Tabla 3.118

Presupuesto de Potencia del Tramo L_9 (Parte II)

		P_{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P_{REC} Requerida en el Pre-Amp. Óptico con Q Total y $n=4$ (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-25.21	-26.98
	N=16	-25.21	-25.4
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-25.21	-20.16
	N=16	-25.21	-18.58

Tabla 3.119

Presupuesto de Potencia del Tramo L₄ y L₇ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=6 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-17.26	-21.78	-6.06	-13.23	7.17
	N=16	-17.26	-20.18	-6.06	-12.13	6.07
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-17.26	-14.3	-6.06	-9.54	3.48
	N=16	-17.26	-12.7	-6.06	-8.44	2.38

Análisis para los Tramos L₇ y L₉.

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₉ se observa que el nivel de la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₅ (-25.21 dBm) esta por encima de la potencia de recepción requerida (Q total y n=4) en los casos donde el número de canales es 8 y 16, y la máxima velocidad de transmisión es de 2.5 Gbps, de manera que a partir de este preamplificador el agregado DWDM va a estar acotado por una cantidad máxima de 16 canales y con una velocidad de transmisión de hasta 2.5 Gbps

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₇ se observa que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₄ (-17.26 dBm) esta solo por encima de la potencia de recepción requerida (Q total y n=6) para cuando el agregado DWDM contenga una cantidad máxima 16 canales con velocidades de transmisión de hasta 2.5 Gbps. La limitación de capacidad del agregado DWDM del tramo L₇, también va afectar a la capacidad del sistema DWDM que se va a implementar entre las estaciones Puerto Cabello y MTSO Valencia.

En cuanto a la potencia de recepción obtenida en el fotodiodo (-6.06 dBm), esta se encuentra por encima de la potencia requerida para permitir una

transmisión de hasta 16 canales con velocidades de 10 Gbps, pero en vista de que el nivel del OSNR a la salida del preamplificador óptico de L_5 y L_4 solo garantiza una transmisión de 16 canales a 2.5 Gbps con una tasa de BER de 10^{-12} , queda acotada la capacidad que tiene fotoreceptor de soportar los 16 canales a 10 Gbps a 16 canales a 2.5 Gbps.

3.6.2.3.- Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.

Asignación final de longitudes de onda:

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes presupuestos de potencia se establecen las siguientes figuras, las cuales muestran un resumen de la capacidad que un sistema DWDM puede implementar en los diferentes tramos, así como también, una posible asignación de longitudes de onda.

- Si se implementa un sistema DWDM entre los tramos MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

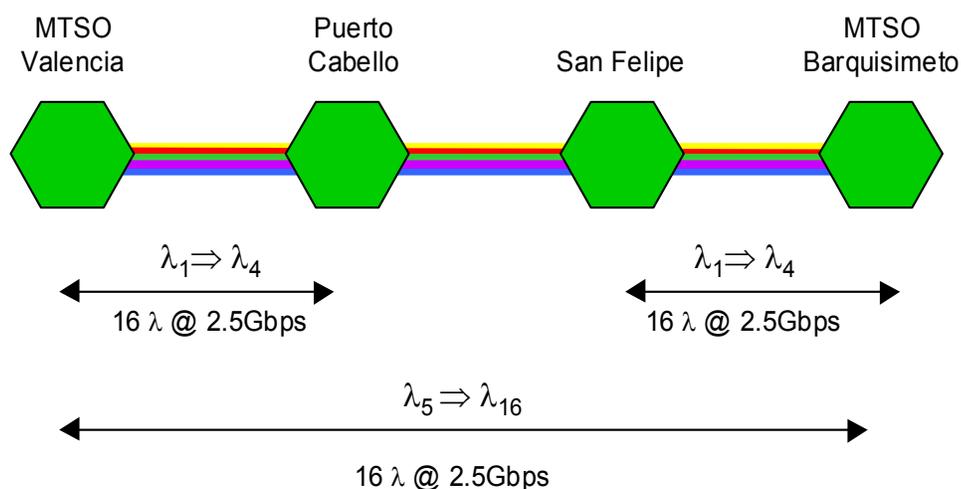


Figura 3.14 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.

- Si se implementa un sistema DWDM en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

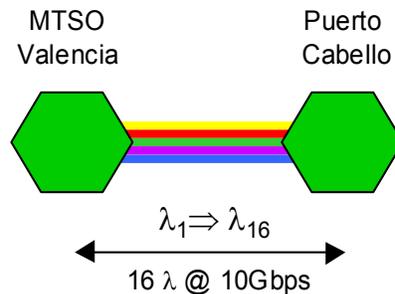


Figura 3.15 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello.

- Si se implementa un sistema DWDM en el tramo MTSO Barquisimeto – San Felipe, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

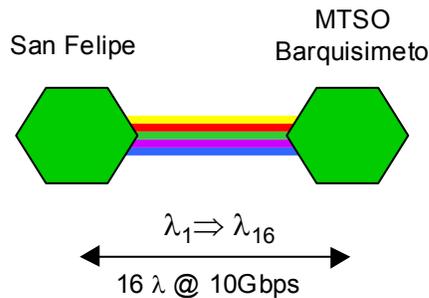


Figura 3.16 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Barquisimeto - San Felipe.

Alternativas de Configuración

Al analizar los resultados que se han obtenido en los diferentes tramos que forman el sistema DWDM implementado entre las estaciones MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto, se tiene que las posibles alternativas de configuración que puedan aumentar la capacidad de transmisión del sistema son muy pocas, ya que los preamplificadores y booster que se han colocado son muy necesarios para alcanzar una respetable cantidad de canales y velocidad de

transmisión, pero en el peor de los casos, si se tomase algunos dB del margen de seguridad de los tramos (no recomendable), se puede fácilmente alcanzar una transmisión DWDM de hasta 16 canales a 10 Gbps desde MTSO Valencia hasta MTSO Barquisimeto. Otra alternativa puede consistir en optar por dispositivos ópticos que tengan un buen desempeño, como por ejemplo, amplificadores ópticos que tengan una figura de ruido mucho menor de 5 dB y una PDL mucho menor de 0.5 dB, como también mux/demux ópticos terminales que tengan pérdidas de inserción muy bajas (mucho menor de 10 dB), permitiendo quizás prescindir de algún booster o preamplificador óptico en los diferentes tramos, y así reducir el deterioro del OSNR, ya que mientras menos amplificadores ópticos se tengan, menor será el ruido de emisión espontánea acumulado y en consecuencia un menor deterioro del OSNR.

3.6.3.- Cálculo del Presupuesto de Potencia para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

El análisis del presupuesto de potencia entre las estaciones MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo se puede realizar en una sola dirección, ya que por el hecho de existir una etapa de regeneración en la estación El Venado, permite analizar el tramo entre MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo en dos tramos independientes, uno es el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado, el cual está dividido en tres tramos equidistantes de 75 Km, por lo que el presupuesto de potencia en una dirección es equivalente a realizarlo en la otra; y el otro tramo está conformado por la El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo, donde la distancia entre las estaciones El Venado y Ciudad Ojeda es de 67 Km, y la distancia entre las estaciones Ciudad Ojeda y MTSO Maracaibo es de 66 Km, como se puede apreciar ambas distancias son casi iguales, por lo tanto el presupuesto de potencia realizado en una dirección será equivalente al que se puede realizar en la otra dirección. En la siguiente figura se presenta el sistema

DWDM implementado entre las estaciones MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo.

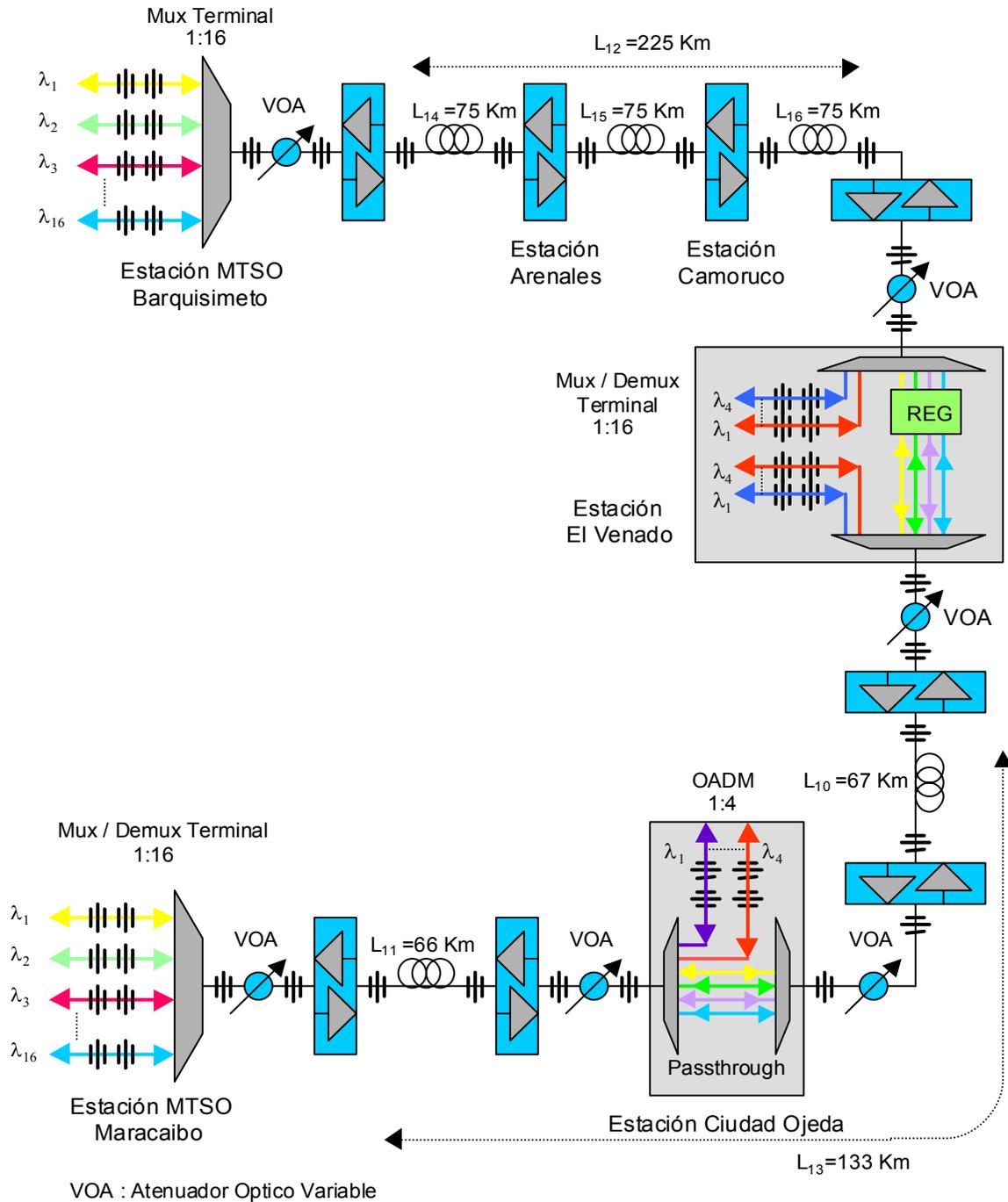


Figura 3.17 Sistema DWDM implementado en tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado - Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

A continuación se procede a determinar los presupuestos de potencia de los tramos comprendidos entre MTSO Barquisimeto – El Venado y El Venado – MTSO Maracaibo.

3.6.3.1.- Presupuesto de Potencia MTSO Barquisimeto – El Venado.

Como se indico anteriormente, el tramo entre las estaciones MTSO Barquisimeto y El Venado esta conformado por tres tramos equidistantes de 75 Km, donde las dos estaciones intermedias (Arenales y Camoruco) cumplen solo la función de amplificar la señal DWDM a través de amplificadores de línea (ILA). Ahora bien, es importante comparar en cada amplificador óptico la potencia de recepción requerida y obtenida, con el fin de determinar las limitaciones que tiene el sistema DWDM en cada tramo en cuanto a la cantidad de canales y las respectivas velocidades de transmisión, pero en este caso como los amplificadores ópticos están equidistantes, bastará con evaluar el último, que es el preamplificador del tramo L₁₂, ya que es el que tendrá una mayor penalidad de potencia y una mayor acumulación de ruido de emisión espontanea, determinándose así la capacidad del sistema DWDM en el tramo MTSO Barquisimeto – El Venado.

En las siguientes tablas se determina el presupuesto de potencia del tramo L₁₂ (MTSO Barquisimeto - El Venado).

Tabla 3.120
Presupuesto de Potencia del Tramo L₁₂ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux DWDM MTSO Barquisimeto	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Barquisimeto			-22	6

Tabla 3.120 (continuación)

Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₄	75	0.25/km	18.75	-12.95
Empalmes del tramo L ₁₄	27	0.07	1.89	-14.84
Conectores	1	0.2	0.2	-15.04
ILA Estación Arenales			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₅	75	0.25/km	18.75	-12.95
Empalmes del tramo L ₁₅	27	0.07	1.89	-14.84
Conectores	1	0.2	0.2	-15.04
ILA Estación Camoruco			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₆	75	0.25/km	18.75	-12.95
Empalmes del tramo L ₁₆	27	0.07	1.89	-14.84
Conectores	1	0.2	0.2	-15.04
Margen de Seguridad de L ₁₂ y L ₁₆			5	-20.04
Pre-amplificador Estación El Venado			-22	1.96
Conectores	1	0.2	0.2	1.76
Atenuador Variable	1	0	0	1.76
Conectores	1	0.2	0.2	1.56
Demux Terminal El Venado	1	10	10	-8.44
Conectores	2	0.2	0.4	-8.64
P _{REC} del Fotodiodo				-8.64

Tabla 3.121

Presupuesto de Potencia del Tramo L₁₂ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. con Q Total y n=4 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-20.04	-27.9	-8.64	-15.19	6.55
	N=16	-20.04	-25.96	-8.64	-14.1	5.46
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-20.04	-20.16	-8.64	-11.51	2.94
	N=16	-20.04	-18.56	-8.64	-10.43	1.79

Análisis para el Tramo L₁₂.

En la tabla de presupuesto de potencia (parte II) del tramo L₁₂ se observa que el nivel de la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₁₆ (-20.04 dBm) esta por encima de la potencia de recepción requerida (para Q total y n=4) en los casos donde el número de canales es de 8 y 16 con una velocidad de transmisión de 2.5 Gbps, y para 8 canales a una velocidad de 10 Gbps.

En cuanto a la potencia de recepción obtenida en el fotodiodo (-8.64 dBm), se encuentra por encima de la potencia requerida para permitir una transmisión de hasta 16 canales con velocidades de 10 Gbps, pero en vista de que el nivel del OSNR a la salida del preamplificador óptico de L₁₆ solo garantiza una tasa de BER de 10⁻¹² para una transmisión de 16 canales a 2.5 Gbps y 8 canales a 10 Gbps, entonces queda acotada la capacidad que tiene fotoreceptor de soportar los 16 canales a 10 Gbps a 16 canales a 2.5 Gbps y 8 canales a 10 Gbps.

En conclusión, el sistema DWDM implementado entre las estaciones MTSO Barquisimeto y El Venado tendrá una capacidad en ambas direcciones de hasta 16 canales a 2.5 Gbps y hasta 8 canales a 10 Gbps.

3.6.3.2.- Presupuesto de Potencia MTSO Maracaibo – Celda El Venado.

En las siguientes tablas se muestra el presupuesto de potencia para los tramos L₁₁ (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda) y L₁₃ (MTSO Maracaibo – El venado).

El presupuesto de potencia del tramo L₁₁ permite evaluar la capacidad del sistema DWDM que se puede implementar entre las estaciones MTSO Maracaibo y Ciudad Ojeda.

El presupuesto de potencia del tramo L₁₃ tiene como objetivo verificar la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico del tramo L₁₀, a partir de las penalidades de potencia y del ruido de emisión espontanea que se ha generado entre las estaciones El Venado y MTSO Maracaibo, de manera de determinar la capacidad del sistema DWDM que se pueda implementar desde MTSO Maracaibo hasta El Venado y viceversa.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₁₁.**

Tabla 3.122

Presupuesto de Potencia del Tramo L₁₁ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Maracaibo	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Maracaibo			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₁	66	0.25/km	16.5	-10.7
Empalmes del tramo L ₁₁	23	0.07	1.61	-12.31
Conectores	1	0.2	0.2	-12.51
Margen de Seguridad de L ₁₁			5	-17.51

Tabla 3.122 (continuación)

Pre-amplificador Estación Ciudad Ojeda			-22	4.49
Conectores	1	0.2	0.2	4.29
Atenuador Variable	1	6	6	-1.71
Conectores	1	0.2	0.2	-1.91
Drop OADM Ciudad Ojeda	1	5	5	-6.91
Conectores	2	0.2	0.4	-7.31
P_{REC} del Fotodiodo				-7.31

Tabla 3.123

Presupuesto de Potencia del Tramo L_{11} (Parte II)

		P_{REC} obtenida en el Pre-Amp. Optico (dBm)	P_{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y $n=2$ (dBm)	P_{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P_{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-17.51	-33.45	-7.31	-16.63	9.32
	N=16	-17.51	-31.85	-7.31	-15.55	8.24
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-17.51	-27.29	-7.31	-14.32	7.01
	N=16	-17.51	-25.69	-7.31	-12.49	5.18

Análisis para el Tramo L_{11} .

En la tabla del presupuesto de potencia (parte II), se aprecia que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico (-17.51 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia que se requiere para cuando Q es total y $n=2$, lo cual indica que la señal DWDM a la salida del preamplificador tiene una relación señal a ruido óptica (OSNR) capaz de proporcionar una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps y con una tasa de

BER de 10^{-12} . También se tiene que la potencia de recepción obtenida en el fotoreceptor (-7.31 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia requerida para cuando Q es total, de modo que tampoco existe ninguna limitación para una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps.

En resumen, el sistema DWDM a implementar desde MTSO Maracaibo hasta Ciudad Ojeda dispone de una capacidad de hasta 16 canales con una velocidad de hasta 10 Gbps.

- **Presupuesto de potencia para el tramo L₁₃.**

Tabla 3.124

Presupuesto de Potencia del Tramo L₁₃ (Parte I)

Elementos de Red	Número de Unidades	Pérdida por Unidad (dB)	Pérdida Total (dB)	Potencia Acumulada (dBm)
P _{OUT} del Láser				0
Conectores	2	0.2	0.4	-0.4
Mux Terminal MTSO Maracaibo	1	10	10	-10.4
Conectores	2	0.2	0.4	-10.8
Booster MTSO Maracaibo			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₁	66	0.25/km	16.5	-10.7
Empalmes del tramo L ₁₁	23	0.07	1.61	-12.31
Conectores	1	0.2	0.2	-12.51
Pre-amplificador Estación Ciudad Ojeda			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Atenuador Variable	1	6	6	-0.2
Conectores	1	0.2	0.2	-0.4

Tabla 3.124 (continuación)

Passthrough OADM Ciudad Ojeda	1	5	5	-5.4
Conectores	2	0.2	0.4	-5.8
Booster Estación Ciudad Ojeda			-22	6
Conectores	1	0.2	0.2	5.8
Fibra del tramo L ₁₀	67	0.25/km	16.75	-10.95
Empalmes del tramo L ₁₀	23	0.07	1.61	-12.56
Conectores	1	0.2	0.2	-12.76
Margen de Seguridad de L ₁₀ y L ₁₃			5	-17.76
Pre-amplificador Estación El Venado			-22	4.24
Conectores	1	0.2	0.2	4.04
Atenuador Variable	1	0	0	4.04
Conectores	1	0.2	0.2	3.84
Mux Terminal El Venado	1	10	10	-6.16
Conectores	2	0.2	0.4	-6.56
P _{REC} del Fotodiodo				-6.56

Tabla 3.125

Presupuesto de Potencia del Tramo L₁₃ (Parte II)

		P _{REC} obtenida en el Pre-amp. Óptico (dBm)	P _{REC} Requerida en el Pre-Amp. Optico con Q Total y n=4 (dBm)	P _{REC} obtenida en el fotodiodo (dBm)	P _{REC} Requerida en el PIN con Q Total (dBm)	Margen del Presupuesto de Potencia (dBm)
LEAF @ 2.5 Gbps	N=8	-17.76	-27.02	-6.56	-14.92	8.36
	N=16	-17.76	-25.42	-6.56	-13.84	7.28
LEAF @ 10 Gbps	N=8	-17.76	-20.62	-6.56	-11.74	5.18
	N=16	-17.76	-19.02	-6.56	-10.66	4.1

Análisis para el Tramo L₁₃.

En la tabla del presupuesto de potencia (parte II), se aprecia que la potencia de recepción obtenida en el preamplificador óptico (-17.76 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia que se requiere para cuando Q es total y $n=4$, lo cual indica que la señal DWDM a la salida del preamplificador tiene una relación señal a ruido óptica (OSNR) capaz de proporcionar una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps y con una tasa de BER de 10^{-12} . También se tiene que la potencia de recepción obtenida en el fotoreceptor (-6.56 dBm) esta por encima de los diferentes niveles de potencia requerida para cuando Q es total, de modo que tampoco existe ninguna limitación para una transmisión de hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps.

En resumen, el sistema DWDM a implementar en el tramo MTSO Maracaibo - El Venado dispone en ambas direcciones de una capacidad de hasta 16 canales con una velocidad de hasta 10 Gbps. De igual modo, la capacidad del agregado DWDM entre las estaciones MTSO Maracaibo y Ciudad Ojeda va a estar acotado por la capacidad del agregado DWDM entre las estaciones MTSO Maracaibo y El Venado, ya que este agregado es el que hace passthrough en el OADM de la estación Ciudad Ojeda, y es sobre el cual se hace la inserción o la extracción de los canales que van y vienen de MTSO Maracaibo.

3.6.3.3.- Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Asignación final de longitudes de onda:

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes presupuestos de potencia se establecen las siguientes figuras, las cuales muestran un resumen de la capacidad que un sistema DWDM puede implementar en los diferentes tramos.

- Si se implementa un sistema DWDM entre los tramos MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda – El Venado, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

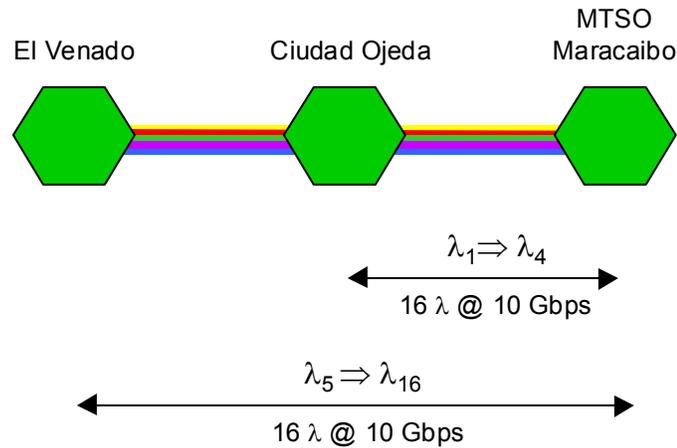


Figura 3.18 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda – El Venado.

- Si se implementa un sistema DWDM en el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

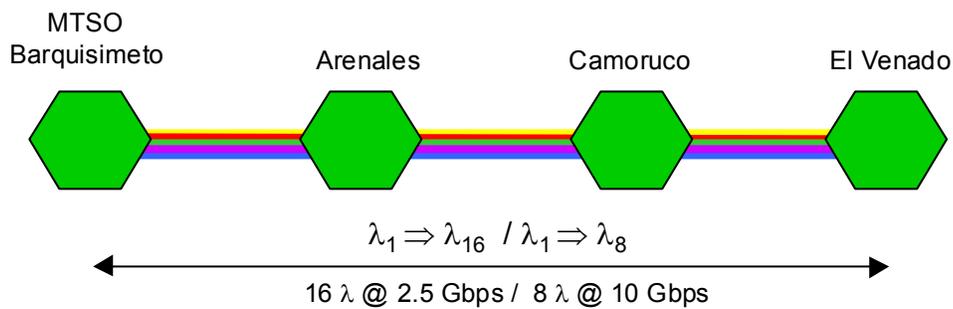


Figura 3.19 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado.

- Si se implementa un sistema DWDM en el tramo MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo, la asignación y la capacidad de longitudes de onda es la siguiente:

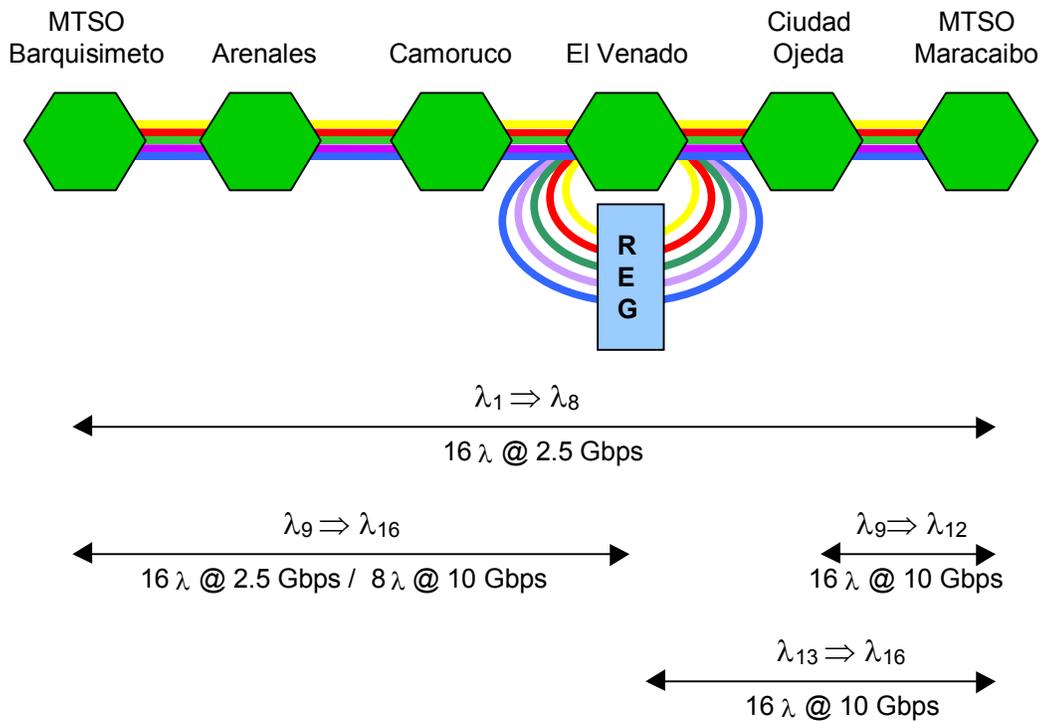


Figura 3.20 Asignación y capacidad de longitudes de onda en el tramo MTSO Barquisimeto – MTSO Maracaibo.

Alternativas de Configuración

El sistema DWDM que se ha propuesto y analizado en los diferentes tramos existentes entre MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo, se caracteriza por disponer de una configuración que lo hace muy robusto ante cualquier deterioro que pueda tener el OSNR de cada tramo, de igual modo, el agregado DWDM cuenta con la mayor cantidad posible de canales y con las mayores velocidades de transmisión.

Las alternativas de configuración que se pudiesen generar entre los diferentes tramos desde MTSO Maracaibo hasta MTSO Barquisimeto, van caracterizar al sistema DWDM por no soportar una gran cantidad de canales

(alrededor de 8 canales), velocidad de transmisión (menores o igual a 2.5 Gbps), y ser menos inmune ante cualquier deterioro que pueda tener el OSNR de cada tramo, es decir, que en ciertos tramos se puede ver comprometido el margen de seguridad total.

Una alternativa de configuración para los tramos entre MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo, consiste en colocar en la celda El Venado un OADM en vez de un mux/demux con regeneradores, para extraer e insertar los canales que van y vienen de MTSO Maracaibo y MTSO Barquisimeto, y a la vez hacer passthrough de los canales que van desde MTSO Barquisimeto hacia MTSO Maracaibo y viceversa. Otra posible alternativa es la de prescindir de los preamplificadores ópticos en aquellas estaciones que dispongan de OADM (El Venado y Ciudad Ojeda), ya que en la medida que haya menos amplificadores ópticos en cascada, el ruido de emisión espontánea acumulado será menor y en consecuencia también será menor el deterioro del OSNR.

3.7.- Análisis del Ancho de Banda.

Una vez que se ha analizado el presupuesto de potencia, se debe analizar el balance de tiempos o ancho de banda, con la finalidad de determinar si el sistema por completo es capaz de soportar una determinada tasa de transmisión, aunque individualmente los diferentes componentes la puedan soportar.

Con el sistema completo es mejor trabajar con el concepto de tiempo de subida o tiempo de respuesta a una función escalón de un sistema lineal, el cual se define en la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{0.35}{\Delta f_{elec}} \quad (3.50)$$

Donde:

- Δf_{elec} es el ancho de banda eléctrico.
- T_r es el tiempo de subida del sistema completo.

La ecuación anterior viene a constituir la respuesta a un circuito RC, pero se adopta para el estudio de sistemas de comunicaciones ópticas.

La relación entre T_r y el ancho de banda eléctrico depende del tipo de modulación digital y también de la forma del pulso. Para pulsos gaussianos en formato NRZ, la relación entre la tasa de transmisión digital (B_R) y el ancho de banda eléctrico es la siguiente:

$$B_R \approx 2\Delta f_{elec} \quad (3.51)$$

por lo que la relación entre B_R y el tiempo de subida del sistema completo es:

$$T_r \leq \frac{0.7}{B_R} \quad (3.52)$$

En el caso del formato RZ, el ancho de banda es aproximadamente el doble que en el caso NRZ, por lo que:

$$T_r \leq \frac{0.35}{B_R} \quad (3.53)$$

El tiempo de subida del sistema completo vendrá dado por los de sus diferentes componentes, en la forma:

$$T_r^2 = T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2 \quad (3.54)$$

Donde:

- $T_{r,fibra}$ es el tiempo de subida de la fibra óptica.
- $T_{r,emisor}$ es el tiempo de subida del emisor.
- $T_{r,receptor}$ es el tiempo de subida del receptor.

En los casos de emisores y detectores optoelectrónicos, el concepto de tiempo de subida es claro y también el del ancho de banda eléctrico correspondiente. En el caso de las fibras ópticas es más complicado, ya que se trabaja con valores de varianza (ensanchamientos del pulso producto de la dispersión) como lo indica la ecuación 3.2:

$$\sigma_{fibra}^2 = \sigma_{cromática}^2 + \sigma_{intermodal}^2 + \sigma_{PMD}^2$$

Donde:

- σ_{fibra} es el ensanchamiento del pulso propagado por la fibra óptica.

Para el caso de una fibra monomodo no existe la componente intermodal, y la PMD sólo habrá que tenerla en cuenta cuando la componente de dispersión cromática sea muy pequeña.

En cualquier caso, para relacionar σ (anchura del pulso propagado por la fibra) y $T_{r,fibra}$, se suele hacer a partir de T_{FWHM} (anchura del pulso a mitad del valor máximo), que para el caso de un pulso gaussiano es:

$$T_{FWHM} = 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma \approx T_{r,fibra} \quad (3.55)$$

Pero al considerar que la anchura espectral del pulso esta dominado por la anchura espectral de la fuente, se tiene que:

$$\sigma \approx \sigma_{fibra}$$

Y por lo tanto:

$$T_{r,fibra}^2 = 5.545 \sigma_{fibra}^2 \quad (3.56)$$

El emisor viene normalmente caracterizado por su tiempo de subida, calculado como el tiempo que tarda en pasar del 10% al 90% del valor máximo. Los valores de T_r para los LEDs están entorno de 1-50 ns, mientras que para láseres los valores son más pequeños, estando típicamente en torno a los 0.1 ns.

En el receptor normalmente hay dos etapas que dan lugar a posibles problemas en la máxima tasa de transmisión, uno es el detector y el otro es la electrónica asociada, la cual va a estar limitada por el filtro del canal lineal. En el caso del fotodetector el fabricante suele dar el tiempo de subida o el ancho de banda eléctrico.

3.7.1.- Análisis del Ancho de Banda para el Sistema DWDM Implementado en la Red Interurbana de Fibra Optica.

A continuación se procede a determinar el balance de tiempos o análisis del ancho de banda para el sistema DWDM implementado en los diferentes tramos que conforman la red interurbana de fibra óptica. Es importante reseñar que el análisis del ancho de banda que se realiza sobre un sistema multicanal es idéntico al que se realiza en un sistema monocal, ya que los dispositivos ópticos como los amplificadores ópticos y los OADMs no afectan los cálculos, la única consideración a tomar en cuenta, es que el hecho de utilizar amplificadores ópticos hace que los trayectos de fibra sobre los cuales se implementa la transmisión del agregado DWDM son más largos, y por ende la dispersión es mayor.

Los tramos sobre los cuales se va a realizar el análisis del ancho de banda son los siguientes:

- MTSO Canaima – Tiara - Venepal – MTSO Valencia.
- MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe – MTSO Barquisimeto.
- MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco - El Venado – Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo.

Para el análisis del ancho de banda se requiere determinar previamente los tiempos de subida del emisor ($T_{r,emisor}$), receptor ($T_{r,receptor}$) y de la fibra óptica ($T_{r,fibra}$), para luego finalmente calcular el tiempo de subida del sistema completo (T_r) y la velocidad de transmisión (B_R).

3.7.1.1.- Determinación del Tiempo de Subida del Emisor.

El tipo de transmisor utilizado en el proyecto es un típico diodo láser MQW-DFB con modulación directa, optimizado para aplicaciones como DWDM y para velocidades de transmisión de hasta 10 Gbps y con un tiempo de subida de 40 ps (ver anexo C), por lo tanto:

$$T_{r,emisor} = 0.04 \text{ ns}$$

3.7.1.2.- Determinación del Tiempo de Subida del Receptor.

Las fuentes de recepción que se han considerado en el proyecto son del tipo PIN y APD, siendo el APD el que ofrece la mayor sensibilidad de recepción. Ambos tipos de fotodetectores están diseñados con un ancho de banda que permite aplicaciones como SONET (OC-192)/SDH (STM-64) y DWDM a una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps. El típico ancho de banda para un fotodetector con las capacidades antes mencionadas es de 11 GHz @ -3 dB (ver anexo C), por lo que el tiempo de subida va estar definido como:

$$T_{r,receptor} = \frac{0.35}{\Delta f_{elec}} = \frac{0.35}{11GHz} = 0.031 \text{ ns}$$

3.7.1.3.- Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Óptica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión.

El tiempo de subida de la fibra óptica ($T_{r,fibra}$), el tiempo de subida del sistema completo (T_r) y la velocidad de transmisión (B_R) se tiene que determinar para los

tramos MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia, MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto y MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

3.7.1.3.1.- Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión para el Tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.

El tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia esta conformado por los siguientes tramos:

- $L_1 = 142$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal).
- $L_2 = 49$ Km (distancia entre las estaciones Venepal y MTSO Valencia).
- $L_3 = 191$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Canaima y MTSO Valencia).

Los cálculos del tiempo de subida de la fibra óptica, del tiempo de subida del sistema completo y de la velocidad de transmisión, deben ser realizados únicamente para los trayectos L_2 y L_3 , ya que en los extremos de estos trayectos es donde se encuentran ubicados los receptores y emisores, los cuales a su vez van a proporcionar los respectivos tiempos de subida para cada uno de los trayectos.

Para el cálculo del tiempo de subida de la fibra óptica se van a utilizar los resultados obtenidos en el cálculo del ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD para las fibras SMF-28 y LEAF en los tramos L_2 y L_3 (sección 3.3.5.3), los cuales se representan en la tabla 3.126.

Tabla 3.126

Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD para L_2 y L_3

	SMF-28	LEAF
$\sigma_{\text{Fibra en } L_2}$	27 ps	5.93 ps
$\sigma_{\text{Fibra en } L_3}$	105.26 ps	23.13 ps

- **Cálculo del $T_{r, fibra}$ para los tramos L_2 y L_3 .**

A partir de los datos proporcionados en la tabla 3.126, y de la ecuación 3.55, se determina el $T_{r, fibra}$ para los tramos L_2 y L_3 en la fibra SMF-28 y LEAF.

- Para el tramo L_2 con fibra SMF-28:

$$T_{r, fibra} = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{Fibra} = (2.35482)27 ps = 0.063 ns$$

- Para el tramo L_3 con fibra SMF-28:

$$T_{r, fibra} = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{Fibra} = (2.35482)105.26 ps = 0.24 ns$$

- Para el tramo L_2 con fibra LEAF:

$$T_{r, fibra} = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{Fibra} = (2.35482)5.93 ps = 0.013 ns$$

- Para el tramo L_3 con fibra LEAF:

$$T_{r, fibra} = 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{Fibra} = (2.35482)23.13 ps = 0.054 ns$$

- **Cálculo del T_r y el B_R para los tramos L_2 y L_3 .**

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo del $T_{r, fibra}$ y de las ecuaciones 3.52 y 3.54, se determinan el T_r y el B_R (para un código NRZ) para los tramos L_2 y L_3 en la fibra SMF-28 y LEAF.

- Para el tramo L_2 con fibra SMF-28:

$$T_r = \sqrt{T_{r, emisor}^2 + T_{r, fibra}^2 + T_{r, receptor}^2} = \sqrt{(0.04ns)^2 + (0.063ns)^2 + (0.031ns)^2}$$

$$T_r = 0.08 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.08 \text{ ns}} = 8.66 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₃ con fibra SMF-28:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04\text{ns})^2 + (0.24\text{ns})^2 + (0.031\text{ns})^2}$$

$$T_r = 0.245 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.245\text{ns}} = 2.85 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₂ con fibra LEAF:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04\text{ns})^2 + (0.013\text{ns})^2 + (0.031\text{ns})^2}$$

$$T_r = 0.052 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.052\text{ns}} = 13.39 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₃ con fibra LEAF:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04\text{ns})^2 + (0.054\text{ns})^2 + (0.031\text{ns})^2}$$

$$T_r = 0.074 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.074ns} = 9.45 \text{ Gbps}$$

3.7.1.3.2.- Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión para el Tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.

El tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto esta conformado por los siguientes trayectos:

- $L_4 = 65$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Valencia y Puerto Cabello).
- $L_5 = 94$ Km (distancia entre las estaciones Puerto Cabello y San Felipe).
- $L_6 = 70.5$ Km (distancia entre las estaciones San Felipe y MTSO Barquisimeto).
- $L_7 = 229.5$ Km (distancia entre las estaciones MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto).

Los cálculos del tiempo de subida de la fibra óptica, del tiempo de subida del sistema completo y de la velocidad de transmisión, deben ser realizados únicamente para los trayectos L_4 , L_6 y L_7 , ya que en los extremos de estos trayectos es donde se encuentran ubicados los receptores y emisores, los cuales a su vez van a proporcionar los respectivos tiempos de subida para cada uno de los trayectos.

Para el cálculo del tiempo de subida de la fibra óptica se van a utilizar los resultados obtenidos en el cálculo del ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD para la fibra LEAF en los tramos L_4 , L_6 y L_7 (sección 3.3.5.6), los cuales se representan en la tabla 3.127.

Tabla 3.127

Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD para L₄, L₆ y L₇

	LEAF
$\sigma_{\text{Fibra en L}_4}$	7.87 ps
$\sigma_{\text{Fibra en L}_6}$	8.53 ps
$\sigma_{\text{Fibra en L}_7}$	27.79 ps

- **Cálculo del $T_{r,\text{fibra}}$ para los tramos L₄, L₆ y L₇.**

A partir de los datos proporcionados en la tabla 3.127, y de la ecuación 3.55, se determina el $T_{r,\text{fibra}}$ para los tramos L₄, L₆ y L₇ en la fibra LEAF.

- Para el tramo L₄:

$$T_{r,\text{fibra}} \approx 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{\text{Fibra}} = (2.35482)7.87 \text{ ps} = 0.018 \text{ ns}$$

- Para el tramo L₆:

$$T_{r,\text{fibra}} \approx 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{\text{Fibra}} = (2.35482)8.53 \text{ ps} = 0.020 \text{ ns}$$

- Para el tramo L₇:

$$T_{r,\text{fibra}} \approx 2\sqrt{2\ln 2}\sigma_{\text{Fibra}} = (2.35482)27.79 \text{ ps} = 0.065 \text{ ns}$$

- **Cálculo del T_r y el B_R para los tramos L₄, L₆ y L₇.**

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo del $T_{r,\text{fibra}}$ y de las ecuaciones 3.52 y 3.54, se determinan el T_r y el B_R (para un código NRZ) para los tramos L₄, L₆ y L₇ en la fibra LEAF.

- Para el tramo L₄:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.040ns)^2 + (0.018ns)^2 + (0.031ns)^2}$$

$$T_r = 0.053 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.053ns} = 13.03 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₆:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04ns)^2 + (0.02ns)^2 + (0.031ns)^2}$$

$$T_r = 0.054 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.054ns} = 12.86 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₇:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04ns)^2 + (0.065ns)^2 + (0.031ns)^2}$$

$$T_r = 0.082 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.082ns} = 8.49 \text{ Gbps}$$

3.7.1.3.3.- Cálculo del Tiempo de Subida de la Fibra Optica, del Tiempo de Subida del Sistema Completo y de la Velocidad de Transmisión para el Tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.

El tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo esta conformado por los siguientes trayectos:

- L_{10} = 67 Km (distancia entre las estaciones El Venado y Ciudad Ojeda).
- L_{11} = 66 Km (distancia entre las estaciones Ciudad Ojeda y MTSO Maracaibo).
- L_{12} = 223 Km (distancia entre las estaciones MTSO Barquisimeto y El Venado).
- L_{13} = 133 Km (distancia entre las estaciones El Venado y MTSO Maracaibo).

Los cálculos del tiempo de subida de la fibra óptica, del tiempo de subida del sistema completo y de la velocidad de transmisión, deben ser realizados únicamente para los trayectos L_{11} , L_{12} y L_{13} , ya que en los extremos de estos trayectos es donde se encuentran ubicados los receptores y emisores, los cuales a su vez van a proporcionar los respectivos tiempos de subida para cada uno de los trayectos.

Para el cálculo del tiempo de subida de la fibra óptica se van a utilizar los resultados obtenidos en el cálculo del ensanchamiento total debido a la dispersión cromática y a la PMD para la fibra LEAF en los tramos L_{11} , L_{12} y L_{13} (sección 3.3.5.9), los cuales se representan en la tabla 3.128.

Tabla 3.128

Ensanchamiento Total Debido a la Dispersión Cromática y a la PMD para L_{11} , L_{12} y L_{13}

	LEAF
$\sigma_{\text{Fibra en } L_{11}}$	7.99 ps
$\sigma_{\text{Fibra en } L_{12}}$	27 ps
$\sigma_{\text{Fibra en } L_{13}}$	16.1 ps

- **Cálculo del $T_{r, fibra}$ para los tramos L₁₁, L₁₂ y L₁₃.**

A partir de los datos proporcionados en la tabla 3.128, y de la ecuación 3.55, se determina el $T_{r, fibra}$ para los tramos L₁₁, L₁₂ y L₁₃ en la fibra LEAF.

- Para el tramo L₁₁:

$$T_{r, fibra} \approx 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma_{Fibra} = (2.35482)7.99 ps = 0.018 ns$$

- Para el tramo L₁₂:

$$T_{r, fibra} \approx 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma_{Fibra} = (2.35482)27 ps = 0.063 ns$$

- Para el tramo L₁₃:

$$T_{r, fibra} \approx 2\sqrt{2 \ln 2} \sigma_{Fibra} = (2.35482)16.1 ps = 0.037 ns$$

- **Cálculo del T_r y el B_R para los tramos L₁₁, L₁₂ y L₁₃.**

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo del $T_{r, fibra}$ y de las ecuaciones 3.52 y 3.54, se determinan el T_r y el B_R (para un código NRZ) para los tramos L₁₁, L₁₂ y L₁₃ en la fibra LEAF.

- Para el tramo L₁₁:

$$T_r = \sqrt{T_{r, emisor}^2 + T_{r, fibra}^2 + T_{r, receptor}^2} = \sqrt{(0.040 ns)^2 + (0.018 ns)^2 + (0.031 ns)^2}$$

$$T_r = 0.053 ns$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.053ns} = 13.03 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₁₂:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04ns)^2 + (0.063ns)^2 + (0.031ns)^2}$$

$$T_r = 0.08 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.08ns} = 8.66 \text{ Gbps}$$

- Para el tramo L₁₃:

$$T_r = \sqrt{T_{r,emisor}^2 + T_{r,fibra}^2 + T_{r,receptor}^2} = \sqrt{(0.04ns)^2 + (0.037ns)^2 + (0.031ns)^2}$$

$$T_r = 0.062 \text{ ns}$$

$$B_R \leq \frac{0.7}{T_r} = \frac{0.7}{0.062ns} = 11.16 \text{ Gbps}$$

3.7.2.- Resumen de los Resultados Obtenidos en el Análisis del Ancho de Banda para el Sistema DWDM Implementado en la Red Interurbana de Fibra Óptica.

Los resultados obtenidos en el análisis del ancho de banda para los diferentes tramos que conforman la red interurbana de fibra óptica son muy importantes, ya que definen cual es el umbral del ancho de banda o de la velocidad de transmisión de cada uno de los canales que conforman el sistema DWDM, así como también, van acotar a los umbrales de velocidad de transmisión que se han obtenido a

partir de los análisis de la dispersión de la fibra y del presupuesto de potencia (factor Q).

Por otro lado, el análisis del ancho de banda del sistema depende en parte de los tiempos de subida del receptor ($T_{r, receptor}$) y del emisor ($T_{r, emisor}$), de manera que en la medida que se disponga de emisores y receptores de alto desempeño, se podrá obtener algunas mejoras en el ancho de banda del sistema.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el análisis del ancho de banda para los diferentes tramos que conforman la red interurbana de fibra óptica.

- **Resultados del tramo MTSO Canaima – Tiara - Venepal - MTSO Valencia.**

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos en el cálculo del tiempo de subida de la fibra, del tiempo de subida del sistema y de la velocidad de transmisión para los tramos L_2 (MTSO Valencia – Venepal) y L_3 (MTSO Valencia – MTSO Canaima).

Tabla 3.129

Resultados Obtenidos en el $T_{r, fibra}$, T_r y el B_R para L_2 y L_3

	SMF-28			LEAF		
	$T_{r, fibra}$ (ps)	T_r (ps)	B_R (Gbps)	$T_{r, fibra}$ (ps)	T_r (ps)	B_R (Gbps)
L_2	0.063	0.08	≤ 8.66	0.013	0.052	≤ 13.39
L_3	0.24	0.245	≤ 2.85	0.054	0.074	≤ 9.45

- **Resultados y conclusiones del tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello – San Felipe - MTSO Barquisimeto.**

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos en el cálculo del tiempo de subida de la fibra, del tiempo de subida del sistema y de la velocidad de

transmisión para los tramos L_4 (MTSO Valencia – Puerto Cabello), L_6 (MTSO Barquisimeto – San Felipe) y L_7 (MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto).

Tabla 3.130

Resultados Obtenidos en el $T_{r, fibra}$, T_r y el B_R para L_4 , L_6 y L_7

	LEAF		
	$T_{r, fibra}$ (ps)	T_r (ps)	B_R (Gbps)
L_4	0.018	0.053	≤ 13.03
L_6	0.020	0.054	≤ 12.86
L_7	0.065	0.082	≤ 8.49

- **Resultados y conclusiones del tramo MTSO Barquisimeto – Arenales – Camoruco – El Venado – Ciudad Ojeda - MTSO Maracaibo.**

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos en el cálculo del tiempo de subida de la fibra, del tiempo de subida del sistema y de la velocidad de transmisión para los tramos L_{11} (MTSO Maracaibo – Ciudad Ojeda), L_{12} (MTSO Barquisimeto – El Venado) y L_{13} (MTSO Maracaibo – El Venado).

Tabla 3.131

Resultados Obtenidos en el $T_{r, fibra}$, T_r y el B_R para L_{11} , L_{12} y L_{13}

	LEAF		
	$T_{r, fibra}$ (ps)	T_r (ps)	B_R (Gbps)
L_{11}	0.018	0.053	≤ 13.03
L_{12}	0.063	0.08	≤ 8.66
L_{13}	0.037	0.062	≤ 11.16

Capítulo IV

Evaluación Teórica de los Equipos DWDM

4.0.- Introducción.

La evaluación teórica de los equipos DWDM consiste en evaluar y analizar las capacidades de los diferentes equipos que forman parte de un sistema DWDM, para ello inicialmente se implementó un cuestionario que le fue suministrado a un conjunto de empresas líderes en el desarrollo y fabricación de equipos DWDM. En la siguiente tabla, se indican los fabricantes y los respectivos equipos DWDM que fueron evaluados.

Tabla 4.1

Equipos DWDM y Fabricantes a ser Evaluados

FABRICANTE	EQUIPO DWDM
ECI	XDM
ALCATEL	1686 WM
ERICSSON	PLT 40/80
HUAWEI	OptiX BWS 320G
SIEMENS	FSP3000

El cuestionario de evaluación está conformado por un total de setenta preguntas, las cuales fueron elaboradas basándose en los requerimientos mínimos que deben cumplir los equipos DWDM para ser considerado un producto estándar de Telcel Bellsouth, así como también, en los criterios de funcionamiento, durabilidad, características ambientales, eléctricas y físicas que van a permitir una operación confiable con un mínimo mantenimiento durante la vida útil del equipo. En el cuestionario se contemplan los siguientes aspectos:

- Arquitectura del hardware del sistema DWDM.
- Descripción funcional de las unidades.
- Desempeño y capacidad del sistema DWDM.
- Topologías de red.
- Arquitectura del software gestión del sistema.
- Requerimientos de alarmas externas y del equipo.
- Requerimientos mecánicos, ambientales y de energía.
- Consideraciones de seguridad e identificación.
- Cumplimiento con las recomendaciones y estándares internacionales.

Una vez que los fabricantes consignaron las respuestas del cuestionario y los respectivos manuales técnicos de los equipos, se procedió a la realización de una matriz de cumplimiento para cada equipo DWDM.

4.1.- Matriz de Cumplimiento.

La matriz de cumplimiento de cada equipo DWDM se encuentra en el anexo D, y va a estar integrada por las setenta preguntas del cuestionario y las respectivas respuestas generadas por el fabricante, así como también, las observaciones que fuesen pertinentes a dichas respuestas y una puntuación otorgada en función del grado de cumplimiento de la respuesta con los requerimientos mínimos que establece la gerencia general de transmisión de Telcel Bellsouth.

En la matriz de cumplimiento las setenta preguntas fueron clasificadas en treinticinco preguntas críticas y treinticinco preguntas no críticas. Las preguntas críticas son aquellas que van a contemplar las consideraciones y los requerimientos mínimos que un sistema DWDM debe tener para operar y adecuarse a la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth. Las preguntas no críticas a pesar de que no contemplan aspectos trascendentes para la operación del equipo, son muy importantes y fueron representadas en la matriz de cumplimiento mediante un sombreado.

En cuanto al esquema de puntuación implementado en la matriz de cumplimiento, se tiene que las preguntas críticas tienen un rango de 0 a 10 puntos, y las no críticas tienen un rango de 0 a 5 puntos. En el mejor de los casos, la matriz de cumplimiento permitiría obtener los siguientes resultados:

- 70 preguntas (críticas + no críticas) = 525 puntos \equiv 100%.
- 35 preguntas críticas = 350 puntos \equiv 100%.
- 35 preguntas no críticas = 175 puntos \equiv 100%.

4.2.- Matriz de Cumplimiento Calificación Final.

La matriz de cumplimiento calificación final, es una matriz que resume la calificación obtenida por cada equipo DWDM en la matriz de cumplimiento, al igual que la matriz de cumplimiento, las preguntas no críticas están diferenciadas de las críticas por un sombreado. A continuación se muestra la matriz de cumplimiento calificación final obtenida.

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
1.- El equipo DWDM posee un conjunto de interfaces que le permite servir de plataforma de transporte de alta capacidad, confiable y transparente. ¿Su sistema DWDM dispone de las siguientes interfaces? <ul style="list-style-type: none"> • Adaptadores de longitudes de onda (WLA's) o Transponders. • Interfaz coloreada. • Tarjeta Multi-rate. 	10	10	10	10	10
2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta Adaptadora de longitud de onda (WLA):					
a) ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?	8	8	8	10	10
b) ¿Cuántas tarjetas Adaptadoras de longitudes de onda (WLA's) soporta un sub-rack?	5	5	5	5	5
c) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	10	10	5	10	10
d) ¿Indique si los WLA's tienen control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.	10	2	5	10	10
3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:					
a) ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, Fibre Channel, Fibre Coupling, Digital Vídeo, IP, Frame Relay y ATM?	5	5	10	10	10
b) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	10	10	5	10	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
c) ¿Señalar las recomendaciones UIT que cumplen con las interfaces?	5	5	5	5	5
d) ¿La tarjeta Multi-rate puede ser instalada en el mismo sub-bastidor DWDM o requiere un sub-bastidor adicional?	5	5	5	5	5
4.- En caso de que el equipo disponga de tarjetas coloreadas:					
a) ¿La señal esta coloreada o canalizada según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación UIT-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF?	10	10	10	10	10
5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora / Demultiplexora del equipo DWDM:					
a) ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?	10	10	5	10	10
b) ¿Qué velocidades son soportadas por cada canal?	5	5	5	5	5
c) ¿En que banda (s) opera el equipo?	5	5	5	5	5
d) ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?	0	5	5	0	0
6.- ¿Qué tipo de tecnología o componentes pasivos es empleado por el equipo DWDM para la etapa de multiplexación/Demultiplexación? Ejemplo: Prism Refraction, Waveguide Grating Diffraction, Arrayed Waveguide Gratings, etc.	10	10	10	10	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos, en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF? ¿Indique las relaciones existentes entre las distancias del enlace y los números máximos de longitudes de onda?	5	10	5	10	10
8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?	1	1	5	5	5
9.- ¿Cuál es el máximo alcance y número de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?	10	10	2	10	10
10.- ¿El Amplificador óptico utilizado por equipo DWDM en el transmisor y/o receptor cumple con la recomendación UIT-T G.662 (secciones 10 y 11) y G.663?	5	5	5	5	5
11.- ¿Cuales son los valores nominales que posee el equipo DWDM en cuanto a la potencia de salida del amplificador (Booster) y la sensibilidad del receptor?	5	0	5	5	5
12.- ¿El equipo DWDM es capaz de generar alarmas como ISOL (Input Signal Out Level) y LOS (Loss of Signal) al deteriorarse la señal a la entrada de los adaptadores de longitud de onda (WLA's) en el lado receptor? ¿Qué tipos de señales se generan?	10	10	10	10	10
13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al número de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del número de canales?	1	5	1	3	1

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
14.- ¿El equipo DWDM esta en la capacidad de ejecutar el procedimiento ALS (Automatic Laser Shut Down), tal como lo establece la recomendación UIT-T G.958 (Sistemas de Líneas Digitales basadas en la jerarquía digital síncrona para su utilización en cables de fibra óptica) ?	5	5	5	5	5
15.- En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:					
a) ¿Cuántas configuraciones permite implementar? Ejemplo: Estándar, Expandida, Single-Channel, etc.	1	5	5	5	1
b) En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar número de piezas en repuestos?	5	0	0	0	0
c) Al reemplazar las tarjetas en el equipo. ¿Qué tipo restablecimiento ofrece el equipo? Ejemplo: automático, forzado.	5	5	5	5	5
16.- En cuanto a la topología de red:					
a) ¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?	10	7	10	7	5
b) ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2F, BLSR/4F?	10	5	10	5	5
17.- ¿El equipo DWDM además de ser utilizado como terminal puede ser configurado como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) e ILA (In Line Amplifier)? ¿En el caso de poder ser configurado como un OADM cuantos canales se pueden extraer/insertar? ¿Para la configuración ILA señalar que técnica es usada para la supervisión remota de este sistema y que recomendación de la UIT se sigue para tal fin?	10	10	10	10	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
18.- ¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?	5	5	5	5	0
19.- En cuanto a la capacidad de integración del equipo DWDM: ¿El equipo puede ser interconectado con los equipos existentes en la red SDH de TELCEL BELLSOUTH de los proveedores ECI y Alcatel?	5	5	5	5	5
20.- ¿Su equipo dispone de canales de servicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11?	5	5	5	5	5
21.- En cuanto al sistema de gestión a nivel general:					
a) ¿El equipo dispone de software de gestión?	10	10	10	10	10
b) ¿El sistema de gestión y su arquitectura cumple con la recomendación UIT-T G.784?	10	10	10	10	10
c) ¿El equipo puede ser gestionado por el software disponible en TELCEL BELLSOUTH?	5	5	5	5	5
d) ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?	0	5	5	0	0
e) ¿El sistema puede generar mapas de visualización de los eventos?	5	5	5	5	5
f) ¿La plataforma de gestión de su sistema DWDM es compatible TMN y configurado por capas y áreas funcionales según la recomendación UIT-T M3010?	10	10	10	10	10
g) ¿Cuál es la escalabilidad del sistema de gestión? ¿Cuántos elementos de red pueden ser manejados simultáneamente con varias aplicaciones y arreglos de software licenciados?	5	5	5	5	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
h) ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?	5	10	10	10	5
i) ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?	0	5	5	5	5
j) ¿El sistema de gestión posee interfaces u opciones que permitan integrarse con sistemas como SQL de acceso directo a la base de datos?	5	5	5	5	5
k) ¿A través de la gestión de red o gestión local mediante un Craft Terminal se puede realizar telemedidas para tener control de los niveles presentes en el equipo? Como por ejemplo medir la corriente promedio del láser.	5	5	5	0	5
l) ¿El sistema de gestión de red o local permite realizar carga remota de software?	10	10	10	10	10
m) ¿Su sistema de gestión puede interactuar con un sistema de gestión de orden superior y dispone de las interfaces abiertas para ello?	10	10	10	10	10
n) ¿El equipo dispone de alguna interfaz F que permita el manejo del enlace través de un Craft Terminal o CID (Craft Interface Devive)? En el caso de poseer dicha interfaz: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? • ¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? • ¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? 	10	10	10	10	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL	HUAWEI
22.- El sistema de gestión al nivel de la configuración:					
a) ¿Permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local (Craft Terminal), como desde el sistema de gestión de red?	10	10	10	10	10
b) ¿Permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda?	10	10	10	10	10
c) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio?	10	10	10	10	10
d) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red (nodos, enlaces físicos y lógicos)?	5	5	5	5	5
23.- El sistema de gestión al nivel del desempeño:					
a) ¿Cómo obtiene y evalúa las condiciones de los recursos de la red?	5	5	5	5	5
b) ¿Genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según lo especificado en la recomendación UIT-T G.783? Estas estadísticas de desempeño deben incluir como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821. • Reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas. 	10	10	10	10	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
c) ¿Cómo realiza el desempeño de la conmutación a protección?	10	10	10	10	10
24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:					
a) ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?	5	10	10	10	10
b) ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?	1	5	5	5	5
c) ¿Puede realizar rutinas de pruebas y diagnostico que permitan aislar fallas rápidamente?	10	10	10	10	10
d) ¿Permite hacer corrección de fallas?	10	10	10	10	10
e) ¿Puede generar históricos de fallas?	10	10	10	10	10
f) ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?	0	5	5	0	5
25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:					
a) ¿Posee la opción de gateway de seguridad para filtrar el tráfico de entrada y salida de servicios?	10	10	10	10	10
b) Puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Prevención. • Detección. • Autenticación. • Autorización. • Contención y recuperación. 	10	10	10	10	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
	PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL
c) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?	0	5	5	0	0
d) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los siguientes cuatro niveles de acceso a los elementos de la red? <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1: Acceso de sólo lectura para ver las alarmas e información de desempeño. • Nivel 2: Adicional al nivel 1, permite el uso de herramientas de diagnostico y pruebas. • Nivel 3: Acceso de lectura y escritura, más el control total de los equipos propuestos (aprovisionamiento, información de monitoreo y control, etc.). • Nivel 4: Adicional al nivel 3, que cuente con todas las funciones de administración. 	10	10	10	10	10
e) ¿Genera registro de los históricos de acceso a los elementos de la red?	10	10	10	10	10
26.- En cuanto a los requerimientos mecánicos, ambientales y de energía:					
a) ¿El cableado de fibra en el equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas o rejillas?	5	5	5	5	5
b) ¿Los equipos DWDM pueden ser instalados en los bastidores de los equipos SDH/PDH que posee TELCEL BELLSOUTH instalados en su red de transporte?	5	5	5	5	5
c) ¿Qué condiciones ambientales soporta el equipo DWDM en cuanto a la temperatura y la humedad?	5	5	5	5	5
d) ¿Cuál es el consumo de energía del equipo DWDM y como es su sistema de alimentación?	5	5	5	5	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	CALIFICACION FINAL (continuación)				
PREGUNTAS	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL	HUAWEI
27.- ¿Dispone de personal capacitado en el país para prestar soporte técnico, de manera de dar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier problema que se presente? ¿Especifique la estructura del departamento de soporte técnico?	5	5	5	5	5
28.-¿El equipo DWDM cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T?	5	5	5	5	5
Subtotal de las preguntas críticas.	328	327	315	342	335
Subtotal de las preguntas no críticas.	134	161	166	143	142
Total de la matriz de cumplimiento.	462	488	481	485	477

4.3.- Análisis de la Matriz de Cumplimiento.

A continuación se realiza un análisis de las diferentes respuestas proporcionadas por los fabricantes de equipos DWDM en el cuestionario de evaluación, y en las cuales surgió alguna observación, debido a que el equipo no cumple parcial o totalmente con los requerimientos técnicos exigidos por Telcel Bellsouth. El análisis es presentado siguiendo el esquema de numeración de las preguntas contenidas tanto en el cuestionario como en la matriz de cumplimiento.

2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora de longitud de onda (WLA):

a.- ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?

A pesar de que todos los fabricantes ofrecen un sistema DWDM capaz de soportar al menos 32 longitudes de onda, existe una diferencia muy importante entre ellos, y consiste en tener una unidad que en el lado de transmisión combina cuatro señales ópticas STM-16 en una señal óptica STM-64, la cual además integra la función de FEC. Luego en el lado receptor la señal óptica STM-64 es demultiplexada en cuatro señales ópticas STM-16. Esta unidad permite ahorrar recursos de longitudes de onda en el sistema DWDM. Es importante destacar que la interfaz óptica del STM-16 cumple con la recomendación UIT-T G.957 y G.707, y la interfaz óptica STM-64 cumple con la G.692. Los únicos equipos DWDM que ofrecen este tipo de concentrador es el OptiX BWS 320G de Huawei y el FSP 3000 de Alcatel.

c.- ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?

La interfaz óptica STM-16 del WLA debe cumplir tanto con la recomendación UIT-T G.957, como también con la UIT-T G.707, ya que esta última es donde se

especifica la capacidad de soportar el código de línea NRZ, y por ser además, una de las exigencias de Telcel Bellsouth en el documento de especificaciones y lineamientos para el diseño, ingeniería y construcción del proyecto interurbano de fibra óptica. Según la respuesta indicada por el representante del sistema DWDM FSP 3000 de SIEMENS, el adaptador de longitud de onda para una señal óptica STM-16, no cumple con la recomendación G.707, alegando que el mismo provee el transporte de señales SDH en forma transparente.

d.- ¿Indique si el WLA tiene control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.

El equipo DWDM FSP 3000 de SIEMENS, a pesar de que el WLA tienen cierta tolerancia a la dispersión cromática, está es de muy poco rango en comparación con la de los otros fabricantes, sobre todo a nivel de 2.5 Gbps. Por ejemplo, SIEMENS en su manual técnico acota que el WLA para una velocidad de transmisión de 2.5 Gbps tiene una tolerancia a la dispersión de 2.000 ps/nm, y si se emplea un modulo de extensión puede alcanzar 4.000 ps/nm, cuando los otros equipos ofrecen un WLA que pueden tener una tolerancia alrededor de los 10.000 ps/nm para 2.5 Gbps.

3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:

a.- ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, Fibre Channel, Fibre Coupling, Digital Vídeo, IP, Frame Relay y ATM?

El equipo DWDM PLT 40/80 de Ericsson no cumple totalmente con las exigencias de una tarjeta multi-rate, ya que la ofrecen solo tiene capacidad de transporte para los protocolos SDH/SONET a velocidades STM-1/OC-3, STM-4/OC-12, STM-16/OC-48 y STM-64/OC-192. Con Gigabit Ethernet la capacidad es de 1.25

Gbps. En el futuro serán añadidas: Fibre Channel, PDH, Fast Ethernet, ESCON y FDDI.

El XDM solo dispone de transponder que están en la capacidad de soportar SDH, SONET, PDH, ATM, IP y Gigabit Ethernet en velocidades de transmisión desde los 34 Mbps hasta 2.5 Gbps o 10 Gbps. Dos tipos de transponder están disponibles uno para velocidades de hasta 2.5 Gbps y otro hasta 10 Gbps. El transponder para señales estándar realiza una regeneración del tipo 3R y para las no estándar del tipo 2R. El transponder del XDM no cumple totalmente con todos los requerimientos exigidos para soportar múltiples protocolos e interfaces, ya que no maneja FDDI, Fibre Channel y Digital Video.

b.- ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?

En cuanto al equipo DWDM FSP 3000 de SIEMENS, la tarjeta multi-rate no cumple con la recomendación G.707 para la interfaz física de alta velocidad STM-1/4/16, alegando que la interfaz de la tarjeta provee el transporte de señales SDH en forma transparente.

5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora / Demultiplexora del equipo DWDM:

a.- ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?

La canalización de longitudes de onda empleada por el equipo DWDM FSP 3000 de SIEMENS dispone de 16 canales en la banda C y 16 canales en la banda L, dando un total de 32 canales. Esta disposición de canales ofrecida por el FSP 3000 no es muy rentable para el sistema DWDM que Telcel Bellsouth pudiera implementar en la red interurbana, ya que además de estar subutilizando la banda C, el cable de fibra óptica para la red interurbana está conformado en un 75% de fibra del tipo monomodo estándar (SMF-28 de Corning), la cual esta optimizada

para operar en la región de los 1310 nm y en sistemas TDM y WDM operando en al región de los 1550 nm. Esto trae como consecuencia que en el supuesto caso de tener que recurrir a este tipo de fibra para implementar el sistema DWDM, se estaría subutilizando su capacidad.

d.- ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?

Dentro de los equipos DWDM evaluados, los únicos que pueden operar tanto en la banda C como en la L, son el PLT 40/80 de Ericsson y el FSP 3000 de SIEMENS. Para ello estos sistemas utilizan un esquema de canalización de longitudes de ondas que involucra tanto la banca C como la L, así como también, dispositivos ópticos como los multiplexores/demultiplexores y amplificadores ópticos que estén diseñados para operar sobre todo en la banda L.

7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos?

Los sistemas DWDM que ofrecen la menor distancia a cubrir sin amplificadores ni regeneradores son el XDM de ECI y el FSP 3000 de SIEMENS, los cuales no cumplen con la exigencia mínima de 25 dB para 32 canales a una velocidad de transmisión de 2.5 Gbps.

8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?

En cuanto al criterio utilizado para el cálculo del enlace DWDM todos los proveedores tienen su método en particular, pero en cuanto a la disposición de alguna herramienta de simulación que permita verificar con cierta exactitud que el diseño del sistema DWDM que se quiere implementar es factible, solo Ericsson y ECI no respondieron, dando a entender que no tienen ningún tipo de software de simulación.

9.- ¿Cuál es el máximo alcance y número de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?

Al realizar la comparación de las diferentes cantidades de tramas y sus márgenes respectivos se observó que el FSP 3000 de SIEMENS, es el que ofrece la menor cantidad de tramas que se puede implementar, así como también, el margen de la trama es muy pequeño. A continuación se indica un extracto de la capacidad de los diferentes sistemas para el caso de 32 canales @ 2.5 Gbps:

- FSP 3000 de SIEMENS:
 - ◆ Para 4 canales @ 2.5 Gbps en una topología lineal (sin protección) se tiene que para 3 nodos (2 tramas) la longitud de la trama es de 23.5 dB.
- XDM de ECI:
 - ◆ Utilizando un booster se puede alcanzar hasta 160 km y utilizando además varios ILA se puede alcanzar hasta 700 km.
- PLT 40/80 de Ericsson:
 - ◆ Con fibra G.652 se puede alcanzar 8 tramas x 25.5 dB con 32 canales.
- 320G BWS de Huawei:
 - ◆ 8 tramas x 22 dB, 5 tramas x 30 dB y 3 tramas x 33 dB.
- 1686MW de Alcatel.
 - ◆ En fibra G.652 con 32 λ @ 2.5 Gbps = 7 tramas de 32 dB.

13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al número de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del número de canales?

Los amplificadores ópticos del equipo DWDM OptiX BWS 320G de Huawei utilizan una técnica de control de ganancia llamada Gain Locking, la cual se basa en controlar la potencia de bombeo del EDFA. Esta técnica de control garantiza hasta cierto punto una ganancia constante para cada canal independiente del número de

canales, pero no controla la potencia de salida del canal independientemente, sino la potencia de salida total y la potencia de entrada total, de modo que un canal óptico puede de acuerdo a su potencia de entrada llegar a alcanzar la máxima potencia de salida del amplificador óptico, por ejemplo 20dBm, donde para un sistema de 32 canales su potencia debería ser alrededor de los 6 dBm, por lo tanto, el amplificador óptico debería limitar la potencia óptica de entrada del canal en función de la cantidad de canales. Por otro lado, esta técnica de control de ganancia tiene tiempos de respuesta bajos.

La técnica de amplificación utilizada por los amplificadores ópticos del XDM de ECI consiste en que la potencia de salida del amplificador óptico es fija y no depende del número de canales, por lo tanto, la ganancia decrementa en la medida que el número de canales incrementa, y por ende, la potencia por canal también decrementará, y esto influye en la calidad de la transmisión de los canales individuales, por lo cual durante la etapa de diseño del sistema debe tomarse en cuenta el crecimiento del sistema.

La técnica utilizada para el control de ganancia en los amplificadores ópticos del FSP 3000 de SIEMENS consiste en controlar el amplificador óptico por corriente, y donde la potencia de salida es una función de la potencia de entrada. Esto trae como consecuencia que en la medida que se inserte o se extraigan canales, la potencia del canal va a variar a la salida del amplificador.

Los amplificadores ópticos del equipo 1686 WM de Alcatel emplean una técnica de control de ganancia basada en controlar la potencia de salida del amplificador, de manera que esta permanezca constante, para lo cual utiliza la inserción de una longitud de onda en el sistema DWDM, llamado canal de saturación, cuyo comportamiento es equivalente a un tanque de potencia óptica que compensará el número de canales. Si el número de canales a ser transmitidos se dobla, entonces la potencia de salida del canal de saturación se reducirá por 3 dB, para así conservar la potencia de entrada del amplificador constante, contribuyendo a que el punto de trabajo del amplificador no cambie y no dependa del número de canales. El problema de esta técnica es que no hay control de la potencia de salida de cada canal independientemente, y por ende, un canal puede

alcanzar niveles altos de potencia en la salida si su potencia de entrada es también alta, y la consecuencia de esta situación es tener que estar determinado el presupuesto de potencia del enlace cada vez que se realicen inserciones de canales. Otra desventaja de este sistema, es que la inserción del canal de saturación solo compensa cuando la cantidad de canales es pequeña y además requiere de un láser extra, lo cual conlleva a mayores costos en el equipo.

15.- En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:

b.- En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar número de piezas en repuestos?

De los sistemas DWDM evaluados, el único que tiene la capacidad de ser integrado sobre el mismo sub-bastidor del mux/demux SDH/SONET es el XDM de ECI, el cual también puede integrar otras tecnologías como DXC.

16.- En cuanto a la topología de red:

a.- ¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?

Una topología punto a punto con una protección 1+1 a nivel de la sección óptica multiplexada (OMS) consiste en que el agregado WDM saliente del multiplexor óptico es duplicado a través de un acoplador óptico y del lado de recepción se tiene un conmutador óptico que va seleccionar uno de los dos agregados WDM. Este esquema de protección utiliza dos pares de fibras ópticas, un par representa las fibras de trabajo por donde va el agregado WDM principal y el otro par denominado fibras de protección, que es por donde va el agregado WDM de protección. La protección OMS tiene la ventaja de que no se requiere duplicar los dispositivos como los mux/demux ópticos y los transponder, pero tiene la desventaja de que no hay una protección del canal óptico, y por lo tanto, en el caso de ocurrir una falla en el canal no sería detectado por el equipo DWDM.

La topología punto a punto con un esquema de protección 1+1 a nivel del canal óptico (OCh), se logra implementando un módulo del lado transmisor que duplique el canal óptico entrante a través de un acoplador (1:2), que en el caso de ser un canal óptico no coloreado como Gigabit Ethernet, se requerirían dos transponder, y en el lado receptor a través de un conmutador (1:2), se selecciona uno de los dos canales ópticos provenientes de los dos transponder o del demultiplexor óptico. Este esquema de protección requiere cuatro fibras ópticas, un par que representa las fibras de trabajo y el otro par las fibras de protección, adicionalmente se requiere tener duplicidad en cuanto a la cantidad de los mux/demux ópticos. La ventaja de la protección del canal óptico es que además de proteger en contra de una falla del transponder, de un filtro del mux/demux óptico, o de un conector, también protege en caso de una falla de la línea o del trayecto de fibra óptica.

El equipo DWDM XDM de ECI y el FSP 3000 de SIEMENS tienen la capacidad de ofrecer una topología punto a punto con una protección 1+1 tanto de la sección óptica multiplexada como del canal óptico.

Los equipos DWDM 1686 WM de Alcatel y PLT 40/80 de Ericsson ofrecen una topología punto a punto con un esquema de protección 1+1 solo a nivel del canal óptico (OCh).

El equipo DWDM OptiX BWS 320G de Huawei permite una topología punto a punto con una protección 1+1 solo a nivel de la sección óptica multiplexada (OMS), la cual se implementa a través de la unidad OLP (Optical Line Protection).

b.- ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2F, BLSR/4F?

Los equipos DWDM como capa de transporte permiten a la capa SDH/SONET implementar mecanismos de protección como UPSR, BLSR/2F y BLSR/4F, donde en este caso la plataforma DWDM provee enrutamiento redundante y la plataforma SDH provee la capacidad de conmutación.

En cuanto a los mecanismos de protección de la capa óptica que puede ofrecer el equipo DWDM en la topología de anillo, dependerá básicamente de los módulos que permiten implementar una protección del canal óptico y de la sección multiplexada. En el caso de que el equipo disponga de una protección de canal óptico, se podrá disponer de una protección del tipo OSNCP y OBPSR (Och-SPRing), y si dispone de protección de la sección multiplexada, la protección puede ser OBLSR/4F (OMS-SPRing).

En vista que el equipo FSP3000 de Siemens y el XDM de ECI poseen de módulos que permiten tanto una protección de canal óptico como de la sección óptica multiplexada, entonces pueden ofrecer una protección del tipo OSNCP y OBPSR (OCh-SPRing), OBLSR/4F (OMS-SPRing).

Los equipos DWDM 1686 WM de Alcatel y PLT 40/80 de Ericsson ofrecen protección sólo a nivel del canal óptico, por lo tanto, el mecanismo de protección a implementar es el OSNCP y OBPSR (OCh-SPRing).

El equipo DWDM OptiX BWS 320G de Huawei tiene protección sólo a nivel de la sección óptica multiplexada, la cual permite implementar un esquema OBLSR/4F (OMS-SPRing).

18.- ¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?

El equipo DWDM OptiX BWS 320G de Huawei no permite una protección a nivel del canal óptico, sólo dispone de protección en la sección óptica multiplexada.

21.- En cuanto al sistema de gestión a nivel general:

d.- ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?

Tanto el sistema de gestión ENM de ECI, como el 1354RM y 1353SH de Alcatel y el OptiX iManager de Huawei no permiten de una gestión basada en la Web. El OptiX iManager lo más que ofrece es un acceso remoto de la gestión de la red vía modem, donde el protocolo IP utiliza el protocolo SLIP, pero no cumple totalmente,

ya que la conexión remota no es a través de Internet o de la Web. Es importante destacar, que los motivos por los cuales estos sistemas de gestión no permiten acceso vía Web, es por sus características de seguridad.

h.- ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?

El sistema de gestión ENM de ECI y el OptiX iManager de Huawei no ofrecen la posibilidad de manejar los protocolos SNMP en ambiente estándar TCP/IP ni el TL1. Para ello es necesario que el sistema de gestión cuente con un QA o también llamado adaptador Q, que permite convertir datos que no sean TMN al formato de datos TMN y viceversa.

i.- ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?

El sistema de gestión ENM de ECI no permite el manejo de alarmas externas en el equipo XDM, lo cual trae como consecuencia que desde el Centro de Control de la Red (CCR) no se puedan observar alarmas externas como puerta abierta, falla de AC, alta temperatura, entre otras, y que son parte de la estación donde reside el equipo XDM. La atribución de que un equipo pueda generar alarmas externas es sumamente importante, y más aún cuando en la estación no se disponga de otra plataforma o equipo que reporte estas alarmas, que bien podría ser el caso de una estación donde el equipo DWDM pueda estar operando como un amplificador de línea (ILA).

24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:

a.- ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?

El sistema de gestión ENM esta en la capacidad de realizar la verificación constante del estado de las interfaces del XDM, pero no provee la opción de monitorear las alarmas externas, ya que el XDM no tiene interfaces para el manejo y control de alarmas externas.

b.- ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?

El sistema de gestión ENM genera notificaciones de alarmas a todo nivel, pero no tiene la capacidad de poder configurar y modificar los umbrales de los eventos para generar las alarmas respectivas.

f.- ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?

El sistema DWDM XDM de ECI y el 1686 WM de Alcatel no disponen de funciones e interfaces para la generación de trouble tickets, así como su seguimiento y cancelación.

25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:

c.- ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?

Los sistemas de gestión de los equipos XDM de ECI y 1686 WM de Alcatel no tienen la capacidad de permitir el acceso a la red de gestión vía Web, y por ende,

tampoco realiza las respectivas funciones de identificación del usuario y organización.

4.4.- Resultados y Análisis de la Matriz de Cumplimiento Calificación Final.

En las siguientes tablas se indica un resumen de la puntuación y de los porcentajes obtenidos en la matriz de cumplimiento calificación final de los equipos DWDM.

Tabla 4.2

Puntuación Obtenida en la Matriz de Cumplimiento Calificación Final

Cumplimiento	Máxima Puntuación	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL	HUAWEI
Total	525	462	488	481	485	477
Crítico	350	328	327	315	342	335
No Crítico	175	134	161	166	143	142

Tabla 4.3

Porcentaje Obtenido en la Matriz de Cumplimiento Calificación Final

Cumplimiento	Porcentaje Máximo	ECI	ERICSSON	SIEMENS	ALCATEL	HUAWEI
Total	100 %	88 %	92.9 %	91.6 %	92.3 %	90.8 %
Crítico	100 %	93.7 %	93.4 %	90 %	97.7 %	95.7 %
No Crítico	100 %	76.5 %	92 %	94.8 %	81.7 %	81.1 %

En cuanto a los equipos DWDM más destacados en la matriz de cumplimiento calificación final se tienen los siguientes:

- Equipos con mayor cumplimiento total:
 - PLT 40/80 de ERICSSON.
 - 1686 WM de ALCATEL.

- Equipos con mayor cumplimiento crítico:
 - 1686 WM de ALCATEL.
 - OptiX BWS 320G de HUAWEI.

- Equipos con mayor cumplimiento no crítico:
 - FSP3000 de SIEMENS.
 - PLT 40/80 de ERICSSON.

Sin embargo, se puede apreciar en la tabla de puntuación y de porcentaje obtenido en la matriz de cumplimiento calificación final, que las diferencias entre los diferentes equipos DWDM son mínimas, y esto es debido a que en gran parte, estos equipos cumplen con la mayoría de los requerimientos técnicos exigidos por Telcel Bellsouth, por tal razón, se recurre a un conjunto de pautas que van a contribuir a la selección más idónea del equipo DWDM para la red interurbana de fibra óptica. Entre las pautas se tiene las siguientes:

- La red de transmisión de fibra óptica de Telcel Bellsouth esta compartida por dos plataformas de gestión, una es el ENM de ECI y la otra es el 1354RM de ALCATEL, idealmente se requiere que los equipos DWDM a seleccionar para la red interurbana de fibra óptica sean de los mismos proveedores de la plataforma de gestión ya existente, con la finalidad de seguir manteniendo una gestión integrada, y además evitar costos adicionales en la adquisición de una nueva plataforma de gestión, así como también, todos los problemas asociados al tratar de acoplar dos sistemas de gestión de diferentes proveedores y del mismo nivel o jerarquía.

- Los equipos DWDM a seleccionar deben estar en la capacidad de operar y aprovechar al máximo el ancho de banda que ofrecen los tipos de fibras ópticas existente en el cable instalado en la red interurbana. El cable instalado esta conformado en un 75% por fibra monomodo estándar (SMF-28 de Corning) y un 25% por fibra monomodo de dispersión desplazada no nula (LEAF de Corning). La fibra monomodo estándar está optimizada para operar en la banda C con sistemas monocanal y multicanal. Por ejemplo, el equipo DWDM FSP3000 de SIEMENS opera en la banda C como en la L, pero en la banda C solo dispone de 16 canales, por lo tanto esta subutilizando la banda C y en consecuencia el 75% del cable de fibra óptica, por lo cual no es recomendable que sea seleccionado, a pesar de haber alcanzado una buena puntuación en el cumplimiento total y no crítico.
- Los equipos DWDM seleccionados deben presentar la mejor opción costo-beneficio, lo cual a su vez esta relacionado con la modularidad y escalabilidad, así como también, el equipo debe haber sido desarrollado con las mejores tendencias tecnológicas.

Basándose en los resultados obtenidos en la evaluación teórica y en las pautas antes señaladas, los equipos DWDM que tienen la mayor opción a ser seleccionados son el 1686WM de ALCATEL y el XDM de ECI. A continuación se indican algunas similitudes y diferencias entre los dos equipos DWDM.

- Tanto el 1686WM de ALCATEL como el XDM de ECI pueden ser integrados fácilmente a las plataformas de gestión ya existentes en Telcel Bellsouth.
- Ambos equipos son escalables, siendo el 1686WM el que ofrece la menor escalabilidad, ya que dispone de tarjetas mux/demux que permiten implementar configuraciones de hasta 1, 8, 16 y 32 canales y el XDM el que ofrece la mayor escalabilidad ya que las tarjetas mux/demux implementan configuraciones de hasta 16, 32 y 40 canales. En cuanto a la modularidad, el 1686 WM y el XDM están conformado por una gran cantidad y variedad de módulos, los cuales algunos de ellos pueden cumplir hasta dos funciones,

como es el caso del mux DWDM, el cual pudiera ser utilizado como demux DWDM. Por otro lado, el equipo 1686WM pueden ser instalado en los bastidores Optinex, que Telcel Bellsouth tiene instalados en algunas estaciones, pero los módulos DWDM del XDM pueden ser instalados en los mismos nodos XDM que actualmente soportan la red de transporte SDH de Telcel Bellsouth.

- El 1686WM y el XDM están diseñados para utilizar al máximo la banda C, según el esquema de canalización establecido en la recomendación G.692 de la UIT-T, y por ende, pueden darle un mejor uso a la fibra monomodo estándar que esta contenida en el cable de fibra de la red interurbana.
- En cuanto a las tendencias tecnológicas implementadas en los equipos DWDM, tanto el 1686WM como el XDM son muy vanguardistas, a excepción de algunas diferencias, como es el caso de las tecnologías empleadas para la elaboración de los mux/demux, donde el 1686WM solo ofrece una sola tecnología, como es la de los filtros dieléctricos, en cambio el XDM ofrece otras dos más, como son el AWG y las rejillas de difracción. En el control automático de potencia de los amplificadores ópticos, el 1686WM ofrece un mejor método que el XDM, el cual consiste en la inserción y control de una longitud de onda adicional, que entre las diferentes ventajas que genera esta en la de mantener al amplificador óptico en un punto de operación óptimo. En cuanto a los tipos de protección que pueden ofrecer los equipos DWDM, el XDM dispone de módulos que permiten una protección tanto a nivel del canal óptico, como de la sección óptica multiplexada, en cambio, el 1686WM solo dispone de módulos que ofrecen una protección en el canal óptico.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

La tecnología DWDM es altamente recomendable hoy día para todas aquellas empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones que dispongan de una red de fibra óptica y cuyo ancho de banda este colapsando como consecuencia del crecimiento de la Internet, el vídeo conferencia, el entretenimiento, el vídeo interactivo, el teletrabajo, los servicios de información bancaria, la transferencia de datos entre computadoras, la teledistribución, entre otros, los cuales a su vez requieren una flexibilidad real y una clase de inteligencia distribuida.

DWDM es compatible con TDM y con cualquier modo de transferencia, siendo la opción de IP sobre DWDM como una de las más interesantes, además DWDM puede ofrecer una capacidad de hasta 10 Gbps por canal, donde se puede prever una futura jerarquía estándar correspondiente a 320 Gbps para 32 longitudes de ondas y a 1.6 Tbps con 160 longitudes de ondas.

Todos estos indicadores inducen a pensar que el mercado para fabricantes y usuarios de componentes y equipos DWDM será creciente, aún cuando la complejidad de la propia tecnología crezca del mismo modo y a la misma velocidad. En el futuro, DWDM podrá evolucionar hacia una verdadera y rápida conmutación óptica, tal como es, la conmutación óptica de paquetes. Sin embargo, en la actualidad la falta de memorias ópticas adecuadas, entre otras, es aún uno

de los problemas que retardan la introducción de una completa conmutación óptica.

A continuación se indican las conclusiones sobre la Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana de Fibra Óptica de Telcel y la Evaluación Teórica de los Equipos DWDM, así como también, algunas recomendaciones de interés.

- ***Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana de Fibra Óptica de Telcel***

El Sistema DWDM inicialmente a implementar en el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia estaba conformado por tres estaciones: MTSO Canaima, Venepal y MTSO Valencia, pero en vista de la alta atenuación generada por la fibra óptica existente entre las estaciones MTSO Canaima y Venepal se tuvo que habilitar una estación amplificadora a la mitad del tramo, para lo cual se utilizó la ya existente estación Tiara. En cuanto a la capacidad de transmisión para el agregado DWDM según el presupuesto de potencia (Factor Q), se tiene que entre MTSO Canaima y MTSO Valencia, y entre Venepal y MTSO Valencia se pueden implementar hasta 32 canales con una velocidad de transmisión de hasta 2.5 Gbps tanto con fibra LEAF como SMF-28, y hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps con fibra LEAF. Según los resultados del análisis del ancho de banda, las velocidades de transmisión antes indicadas van a estar acotadas de la siguiente manera, para el tramo MTSO Canaima – MTSO Valencia, la máxima velocidad de transmisión es de 2.85 Gbps para la fibra SMF-28 y de 9.45 Gbps para la fibra LEAF; para el tramo Venepal – MTSO Valencia, la máxima velocidad de transmisión es de 8.66 Gbps para fibra SMF-28 y de 13.39 Gbps para fibra LEAF.

El sistema DWDM implementado entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto va a disponer de las estaciones intermedias Puerto Cabello y San Felipe. En cuanto a la capacidad de transmisión para el agregado DWDM según el presupuesto de potencia (Factor Q), se tiene que entre MTSO Valencia y Puerto

Cabello, entre San Felipe y MTSO Barquisimeto, y entre MTSO Valencia y MTSO Barquisimeto se pueden implementar hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 2.5 Gbps con fibra LEAF. Según los resultados del análisis del ancho de banda, las velocidades de transmisión antes indicadas van a estar acotadas de la siguiente manera, para el tramo MTSO Valencia – Puerto Cabello, la máxima velocidad de transmisión es de 13 Gbps, para el tramo San Felipe – MTSO Barquisimeto, la máxima velocidad de transmisión es de 12.86 Gbps, y para el tramo MTSO Valencia – MTSO Barquisimeto es de 8.49 Gbps.

El sistema DWDM implementado entre el tramo MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo es el más largo, e inicialmente estaba planificado para tener tres estaciones intermedias como son las estaciones Carora, El Venado y Ciudad Ojeda, pero en vista de que la distancia de los tramos entre las estaciones MTSO Barquisimeto - Carora (109 km) y Carora – El Venado (114 km) son muy largas (mucho atenuación), se tuvo que recurrir a la implementación de dos estaciones amplificadoras intermedias, las cuales se denominaron Arenales (ubicada en la población de Arenales y Camoruco (ubicada en la población de Camoruco), además se tuvo que establecer una etapa de regeneración en la estación El Venado, con la finalidad de poder implementar entre las estaciones MTSO Barquisimeto y MTSO Maracaibo un sistema DWDM que pueda soportar al menos 16 canales a 2.5 Gbps. En cuanto a la capacidad de transmisión para el agregado DWDM sobre la fibra LEAF y según el presupuesto de potencia (Factor Q), se tiene que entre MTSO Barquisimeto y El Venado, se pueden implementar hasta 16 canales con una velocidad de transmisión de hasta 2.5 Gbps y hasta 8 canales con una velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps; entre El Venado y MTSO Maracaibo, y entre Ciudad Ojeda y MTSO Maracaibo, se pueden implementar hasta de 16 canales de hasta 10 Gbps. Según los resultados del análisis del ancho de banda, las velocidades de transmisión antes indicadas van a estar acotadas de la siguiente manera, para el tramo MTSO Barquisimeto – El Venado, la máxima velocidad de transmisión es de 8.66 Gbps, para el tramo Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo, la máxima velocidad de transmisión es de 13 Gbps, y para el

tramo El Venado - MTSO Maracaibo la máxima velocidad de transmisión es de 11.16 Gbps.

- ***Evaluación Teórica de los Equipos DWDM***

En cuanto a la evaluación teórica que se realizó a los diversos equipos DWDM, se obtuvo que los más destacados en la matriz de cumplimiento calificación final fueron los siguientes:

- Equipos con mayor cumplimiento total:
 - PLT 40/80 de ERICSSON.
 - 1686 WM de ALCATEL.
- Equipos con mayor cumplimiento crítico:
 - 1686 WM de ALCATEL.
 - OptiX BWS 320G de HUAWEI.
- Equipos con mayor cumplimiento no crítico:
 - FSP3000 de SIEMENS.
 - PLT 40/80 de ERICSSON.

Basándose en los resultados obtenidos en la evaluación teórica y en las premisas de que las plataformas de gestión que dispone Telcel Bellsouth son el ENM de ECI y el 1354RM de ALCATEL, y además que los equipos DWDM seleccionados deben presentar la mejor opción costo-beneficio, modularidad y escalabilidad, los equipos DWDM que tienen la mayor opción a ser seleccionados son el 1686WM de ALCATEL y el XDM de ECI.

- ***Recomendaciones***

Siempre que se vaya a implementar un sistema DWDM sobre cualquier red de fibra óptica se tome en cuenta que el diseño y el cálculo teórico es el primer paso en el proceso del diseño, por ende, se recomienda recurrir a herramientas

sofisticadas de simulación que permitan obtener resultados más exactos, permitiendo así la implementación más idónea de un sistema DWDM. De igual modo, es importante llevar a cabo una serie de pruebas en maqueta sobre los equipos DWDM que han sido preseleccionados teóricamente, con la finalidad de someter y evaluar el desempeño del equipo bajo condiciones similares a la red de fibra óptica sobre la cual se piensa instalar.

En cuanto el desarrollo teórico de un proyecto de implementación de un sistema DWDM, se recomienda seguir la siguiente metodología:

1. Definir las Características de la Red de Fibra Óptica.

- Determinar la cantidad de tramos y la longitud de cada tramo que va a conformar la red de fibra óptica.
- Evaluar las matrices de tráfico existentes y futuras entre las diferentes estaciones que conforman la red de fibra óptica.
- Determinar la función que va a cumplir cada estación en la red de fibra óptica, es decir, si va hacer amplificadora, drop/insert o terminal.
- Determinación de la cantidad y la capacidad de los canales que van a conformar el agregado DWDM.

2. Definir los Requerimientos y Características de los Dispositivos, Equipos y Fibra Óptica a Utilizar en el Proyecto.

- Determinación de los parámetros de los diferentes componentes ópticos, como los fotoreceptores, emisores, amplificadores ópticos, multiplexores ópticos, unidades compensadoras de dispersión, etc.
- Determinación de las características de las fibras ópticas utilizadas, como el coeficiente de dispersión cromática, área efectiva, pendiente de la dispersión, atenuación, etc.

3. Cálculos del Proyecto.

3.1. Determinación de la Dispersión en la Fibra Optica.

- Cálculo de la Dispersión Cromática.
- Cálculo de la Dispersión por el Modo de Polarización (PMD).
- Cálculo de la Dispersión Intermodal (solo para fibras multimodo).

3.2. Determinación del Impacto en el Sistema.

- Cálculo de la máxima velocidad de transmisión y longitud del enlace óptico en función de la dispersión de la fibra óptica.

3.3. Determinación de la Penalización de Potencia.

- Cálculo de la penalidad de potencia debido a la Dispersión de la Fibra.
- Cálculo de la penalidad de potencia debido al Efecto Chirp.
- Cálculo de la penalidad de potencia debido al Radio de Extinción no ideal del Transmisor.
- Cálculo de la penalidad de potencia debido a Pérdidas Dependientes de la Polarización (PDL).
- Cálculo de la penalidad de potencia debido al Crosstalk.
- Determinación de la penalización de potencia debido a los Efectos No Lineales.
 - Cálculo de la penalidad de potencia debido a la Dispersión Estimulada de Brillouin (SBS).
 - Cálculo de la penalidad de potencia debido a la Dispersión Estimulada de Raman (SRS).
 - Cálculo de la penalidad de potencia debido a la Automodulación de Fase (SPM).
 - Cálculo de la penalidad de potencia debido a la Modulación de Fase Cruzada (XPM).

- Cálculo de la penalidad de potencia debido al Four Wave Mixing (FWM).
- 3.4. Suma de las Penalidades de Potencia de acuerdo a la velocidad de transmisión de cada canal y a la cantidad de canales que van a conformar el agregado DWDM.
 - 3.5. Determinación del Factor Q Total.
 - 3.6. Determinación de la Potencia de Recepción Requerida en los amplificadores ópticos y en los fotoreceptores para el factor Q total.
4. Presupuesto de Potencia.
 5. Análisis del Ancho de Banda.
 6. Asignación Final de Longitudes de Onda y Alternativas de Configuración en cada tramo de la red de fibra óptica.

Anexo A

**Matriz de Tráfico para los Diferentes Tramos que
Conforman la Red Interurbana de Fibra Optica de
Telcel BellSouth**

En la siguiente tabla se representa la matriz de tráfico para cada uno de los tramos que integran la red interurbana de fibra óptica de Telcel BellSouth. La matriz de tráfico está conformada por la cantidad de E1s necesarios entre cada tramo, y a la vez esta proyectada hasta el año 2006.

Tabla A.1

Matriz de Tráfico de la Red Interurbana de Fibra Optica de Telcel BellSouth

E1s / Tramo	2003	2004	2005	2006
MTSO Canaima - Occidente	679	948	1328	1868
MTSO Valencia – Puerto Cabello	525	653	821	1370
Puerto Cabello – MTSO Barquisimeto	471	572	821	1186
MTSO Barquisimeto – El Venado	331	471	675	977
El Venado – Ciudad Ojeda	346	500	729	1074
Ciudad Ojeda – MTSO Maracaibo	423	613	895	1318

Anexo B

Especificaciones de la Fibra Optica Existente en la Red Interurbana de Telcel BellSouth

Corning® SMF-28™ Optical Fiber

Product Information



PI1036

Issued: April 2002
Supersedes: December 2001
ISO 9001 Registered

Corning® Single-Mode Optical Fiber

The Standard For Performance

Corning® SMF-28™ single-mode optical fiber has set the standard for value and performance for telephony, cable television, submarine, and utility network applications. Widely used in the transmission of voice, data, and/or video services, SMF-28 fiber is manufactured to the most demanding specifications in the industry. SMF-28 fiber meets or exceeds ITU-T Recommendation G.652, TIA/EIA-492CAAA, IEC Publication 60793-2 and GR-20-CORE requirements.

Taking advantage of today's high-capacity, low-cost transmission components developed for the 1310 nm window, SMF-28 fiber features low dispersion and is optimized for use in the 1310 nm wavelength region. SMF-28 fiber also can be used effectively with TDM and WDM systems operating in the 1550 nm wavelength region.

Features And Benefits

- Versatility in 1310 nm and 1550 nm applications
- Enhanced optical properties that optimize transmission performance
- Outstanding geometrical properties for low splice loss and high splice yield
- OVD manufacturing reliability and product consistency
- Optimized for use in loose tube, ribbon, and other common cable design

The Sales Leader

Corning SMF-28 fiber is the world's best selling fiber. In 2001, SMF-28 fiber was deployed in over 45 countries around the world. All types of network providers count on this fiber to support network expansion into the 21st Century.

Protection And Versatility

SMF-28 fiber is protected for long-term performance and reliability by the CPC® coating system. Corning's enhanced, dual acrylate CPC coatings provide excellent fiber protection and are easy to work with. CPC coatings are designed to be mechanically stripped and have an outside diameter of 245 μm. They are optimized for use in many single- and multi-fiber cable designs including loose tube, ribbon, slotted core, and tight buffer cables.

Patented Quality Process

SMF-28 fiber is manufactured using the Outside Vapor Deposition (OVD) process, which produces a totally synthetic ultra-pure fiber. As a result, Corning SMF-28 fiber has consistent geometric properties, high strength, and low attenuation. Corning SMF-28 fiber can be counted on to deliver excellent performance and high reliability, reel after reel. Measurement methods comply with ITU recommendations G.650, IEC 60793-1, and Bellcore GR-20-CORE.

Optical Specifications

Attenuation

Wavelength (nm)	Attenuation* (dB/km)	
	Premium	Standard
1310	≤0.34	≤0.35
1550	≤0.20	≤0.22

*Alternate attenuation values available upon request

Point Discontinuity

No point discontinuity greater than 0.10 dB at either 1310 nm or 1550 nm.

Attenuation at the Water Peak

The attenuation at 1383 ± 3 nm shall not exceed 2.1 dB/km.

Attenuation vs. Wavelength

Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max. α Difference (dB/km)
1285 - 1330	1310	0.05
1525 - 1575	1550	0.05

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α.

Attenuation with Bending

Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation* (dB)
32	1	1550	≤0.50
50	100	1310	≤0.05
50	100	1550	≤0.10
60	100	1550	≤0.05

*The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

Cable Cutoff Wavelength (λ_{ccf})

$$\lambda_{ccf} \leq 1260 \text{ nm}$$

Mode-Field Diameter

$$9.2 \pm 0.4 \text{ } \mu\text{m at 1310 nm}$$

$$10.4 \pm 0.8 \text{ } \mu\text{m at 1550 nm}$$

Dispersion

Zero Dispersion Wavelength (λ₀):

$$1302 \text{ nm} \leq \lambda_0 \leq 1322 \text{ nm}$$

Zero Dispersion Slope (S₀):

$$\leq 0.092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$$

$$\text{Dispersion} = D(\lambda); \approx \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right] \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km}),$$

for 1200 nm ≤ λ ≤ 1600 nm

λ = Operating Wavelength

Polarization Mode Dispersion

Fiber Polarization Mode Dispersion (PMD)

	Value (ps/√km)
PMD Link Value	≤ 0.1*
Maximum Individual Fiber	≤ 0.2

* Complies with IEC 60794-3:2001, section 5.5, Method 1, September 2001.

The PMD link value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as the link quadrature average). This value is used to determine a statistical upper limit for system PMD performance.

Individual PMD values may change when cabled. Corning's fiber specification supports network design requirements for a 0.5 ps/√km maximum PMD.

Environmental Specifications

Environmental Test Condition	Induced Attenuation 1310 nm/1550 nm (dB/km)
Temperature Dependence -60°C to +85°C*	≤0.05
Temperature-Humidity Cycling -10°C to +85°C*, up to 98% RH	≤0.05
Water Immersion, 23±2°C*	≤0.05
Heat Aging, 85±2°C*	≤0.05

*Reference temperature = +23°C.

Operating Temperature Range

-60°C to +85°C

Dimensional Specifications

Length (km/reel): fiber lengths available up to 50.4*

* Longer spliced lengths available at a premium.

Glass Geometry

Fiber Curl: ≥ 4.0 m radius of curvature

Cladding Diameter: 125.0 ± 0.7 μm

Core-Clad Concentricity: ≤ 0.5 μm

Cladding Non-Circularity: ≤ 1.0%

Defined as: $\left[1 - \frac{\text{Min. Cladding Diameter}}{\text{Max. Cladding Diameter}}\right] \times 100$

Coating Geometry

Coating Diameter: 245 ± 5 μm

Coating-Cladding Concentricity: <12 μm

Mechanical Specifications

Proof Test

The entire fiber length is subjected to a tensile proof stress ≥ 100 kpsi (0.7 GN/m²)*.

* Higher proof test levels available at a premium.

Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

Core Diameter: 8.2 μm

Numerical Aperture: 0.14

NA is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.

Zero Dispersion Wavelength (λ₀): 1313 nm

Zero Dispersion Slope (S₀): 0.086 ps/(nm²•km)

Refractive Index Difference: 0.36%

Effective Group Index of Refraction, (N_{eff} @ nominal MFD):

1.4677 at 1310 nm

1.4682 at 1550 nm

Fatigue Resistance Parameter (n_d): 20

Coating Strip Force:

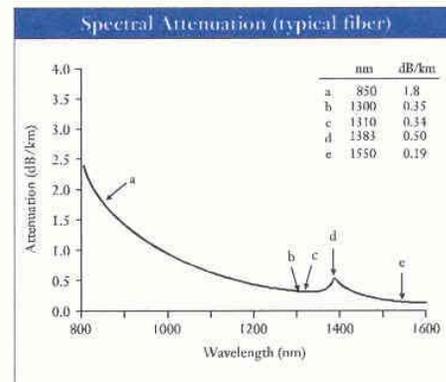
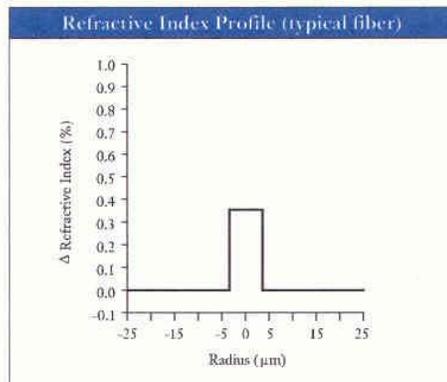
Dry: 0.6 lbs. (3N)

Wet, 14-day room temperature: 0.6 lbs. (3N)

Rayleigh Backscatter Coefficient (for 1 ns pulse width):

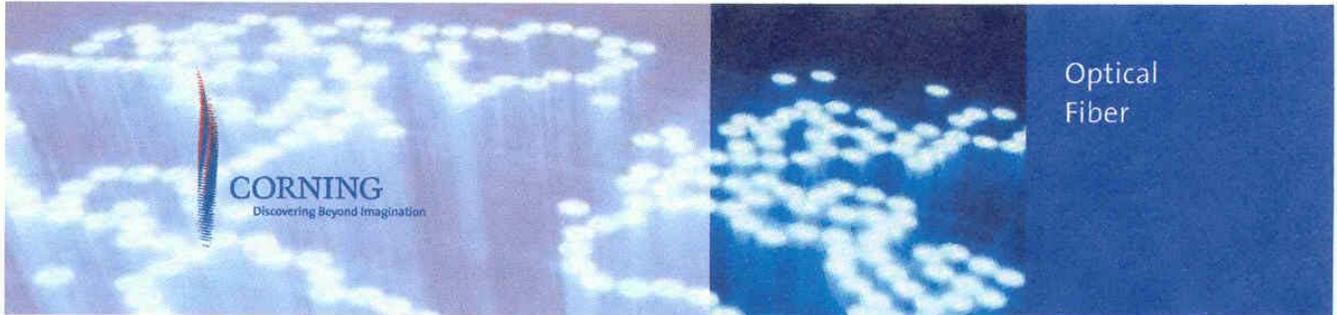
1310 nm: -77 dB

1550 nm: -82 dB



Corning® LEAF® Optical Fiber

Product Information



PI1107

Issued: February 2002
Supersedes: December 2001
ISO 9001 Registered

A Powerful Network Needs

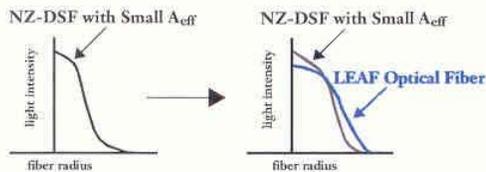
future technologies. Deploy the fiber that revolutionized network technology and gives you room

ability to uniformly reduce all non-linear effects (Figure 1). Non-linear effects represent the greatest performance limitations in today's multi-chan-

Reduce Network Costs

With its increased optical reach advantage, LEAF fiber requires fewer amplifiers and regenerators, and therefore provides immediate and long-term cost savings. LEAF fiber is also compatible with installed base fibers and photonic components. In fact, LEAF fiber's slightly larger mode-field diameter improves its splicing performance, especially when connecting to standard single-mode fiber such as Corning® SMF-28™ fiber. And, as with all Corning optical fiber, LEAF fiber's geometry package is the best in the industry. With LEAF fiber, it is easy and economical to increase the information-carrying capacity of your network.

Figure 1



LEAF fiber's larger A_{eff} increases the area where the light can propagate, thereby reducing non-linear effects.

Fiber For Today & Tomorrow

While LEAF fiber is exceptionally suited to operate with already-installed 2.5 Gbps systems, it is techno-economically optimized for today's high-channel-count 10 Gbps systems, and provides the ability to upgrade in the future to tomorrow's high bit systems. Additionally, LEAF fiber's unparalleled specifications on polarization mode dispersion (PMD) allow fiber installed today to operate at data rates higher than 10 Gbps. The combination of LEAF fiber's large A_{eff} and its demonstrated Raman upgradeability allows transmission engineers to design and build networks advantaged over other fiber plants. As the world's most advanced NZ-DSF, LEAF fiber is ready for future technology when your network is.

LEAF Fiber – All About Value

With LEAF fiber's proven large A_{eff} advantage, the industry's best geometry package, and inherent future-proof design, LEAF fiber continues to be the fiber of choice for today's high-capacity and tomorrow's all-optical networks. Network providers on the cutting edge have embraced large A_{eff} technology as the fiber "backbone" for high-data-rate networks now and in the future.

Technology Awards

Corning Incorporated has received multiple industry awards for its patented LEAF optical fiber. Independent panels of experts have chosen LEAF fiber based on its technical merits for the following awards:

"Annual Technology Award" from Fiberoptic Product News

"Commercial Technology Achievement Award for Fiber-Optics" from Laser Focus World Magazine

"Circle of Excellence Award" from Photonics Spectra Magazine

"R&D 100 Award" from R&D Magazine

Coating

Corning fiber is protected for long-term performance and reliability by the CPC® coating system. Corning's enhanced, dual acrylate CPC coatings provide excellent fiber protection and are easy to work with. CPC coatings are designed to be mechanically stripped and have an outside diameter of 245 μm . CPC coatings are optimized for use in many single- and multi-fiber cable designs, including loose tube, ribbon, slotted core and tight buffer cables.

Optical Specifications

Attenuation

≤ 0.25 dB/km at 1550 nm

≤ 0.25 dB/km at 1625 nm

No point discontinuity greater than 0.10 dB at 1550 nm

Attenuation at 1383 ± 3 nm shall not exceed 1.0 dB/km

Attenuation vs Wavelength		
Range (nm)	Ref. λ (nm)	Max Increase α (dB/km)
1525-1575	1550	0.05
1625	1550	0.05

The attenuation in a given wavelength range does not exceed the attenuation of the reference wavelength (λ) by more than the value α . In all cases, a maximum attenuation of ≤ 0.25 dB/km applies at 1550 nm and 1625 nm.

Attenuation With Bending			
Mandrel Diameter (mm)	Number of Turns	Wavelength (nm)	Induced Attenuation (dB)
32	1	1550 & 1625	≤0.50
75	100	1550 & 1625	≤0.05

The induced attenuation due to fiber wrapped around a mandrel of a specified diameter.

Mode-Field Diameter

9.20 to 10.00 μm at 1550 nm

Dispersion

Total Dispersion: 2.0 to 6.0 psec/(nm•km) over the range 1530 to 1565 nm

4.5 to 11.2 psec/(nm•km) over the range of 1565 to 1625 nm

Fiber Polarization Mode Dispersion (PMD)

	Value (ps/√km)
PMD Link Design Value	≤0.04*
Maximum Individual Fiber	≤0.1

*Complies with IEC SC 86A/WG1, Method 1, September 1997 (n=24, Q=0.1%)

The PMD link design value is a term used to describe the PMD of concatenated lengths of fiber (also known as PMD₀). This value represents a statistical upper limit for total link PMD.

PMD values may change when fiber is cabled. Corning's fiber specification supports emerging network design requirements for high-data-rate systems operating at 10 Gbps (TDM) rates and higher.

Environmental Specifications

Environmental Test Condition	Induced Attenuation (dB/km) 1550 nm
Temperature Dependence -60°C to +85°C*	≤ 0.05
Temperature – Humidity Cycling -10°C to +85°C* and up to 98% RH	≤ 0.05
Water Immersion, 23°C	≤ 0.05
Heat Aging, 85°C*	≤ 0.05

Operating Temperature Range: -60°C to +85°C

*Reference Temperature = +23°C

Dimensional Specifications

Standard Length (km/reel) 4.4 - 25.2*

*Longer spliced lengths available at a premium.

Glass Geometry

Fiber Curl: ≥ 4.0 m radius of curvature

Cladding Diameter: 125.0 ± 1.0 μm

Core/Clad Concentricity: ≤ 0.5 μm

Cladding Non-Circularity: ≤ 1.0%

Defined as:

$$\left[1 - \frac{\text{Min. Cladding Diameter}}{\text{Max. Cladding Diameter}} \right] \times 100$$

Coating Geometry

Coating Diameter: 245 ± 5 μm

Coating/Cladding Concentricity: < 12 μm

Mechanical Specifications

Proof Test

The entire length of fiber is subjected to a tensile proof stress ≥ 100 kpsi (0.7 GN/m²)*

*Higher proof test available at a premium.

Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

Effective Area (A_{eff})

72 μm²

Effective Group Index of Refraction (N_{eff})

1.469 at 1550 nm

Fatigue Resistance Parameter (n_f)

20

Coating Strip Force

Dry, 2.8 N (0.6 lbs)

Wet, 14 days room temperature:

2.7 N (0.6 lbs)

Consistency with Global Standards

The values in this product information sheet demonstrate Corning® LEAF® fiber's conformity with ITU-T Recommendation G.655, IEC 60793-2 for B4 class fibers and Bellcore/Telcordia GR-20-CORE.

Dispersion Calculation

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \left(\frac{D(1565 \text{ nm}) - D(1530 \text{ nm})}{35} * (\lambda - 1565) \right) + D(1565 \text{ nm})$$

λ = Operating wavelength up to 1565

$$\text{Dispersion} = D(\lambda) = \left(\frac{D(1625 \text{ nm}) - D(1565 \text{ nm})}{60} * (\lambda - 1625) \right) + D(1625 \text{ nm})$$

λ = Operating wavelength from 1565–1625

Special selections of LEAF fiber attributes are available upon request.

Ordering Information

To order Corning® LEAF® optical fiber, contact your sales representative, or call the Optical Fiber Customer Service Department at **607-248-2000** or **+44-1244-287-437** in Europe. Please specify the following parameters when ordering.

Fiber Type: Corning® LEAF® Non-Zero Dispersion Shifted Single-Mode Fiber

Fiber Attenuation Cell: _____ dB/km

Fiber Quantity: _____ kms

Other: (Requested ship date, etc.) _____



Corning Incorporated
www.corning.com/opticalfiber

One Riverfront Plaza
Corning, NY 14831
U.S.A.

Phone: 800-525-2524 (U.S. and Canada)
607-786-8125 (International)

Fax: 800-539-3632 (U.S. and Canada)
607-786-8344 (International)

Email: cofic@corning.com

Europe

Phone: 00 800 6620 6632 (U.K.*, Ireland, Italy, France, Germany, The Netherlands, Spain and Sweden)

+607 786 8125 (All other countries)

Fax: +1 607 786 8344

Asia Pacific

Australia
Phone: 1-800-148-690
Fax: 1-800-148-568

Indonesia
Phone: 001-803-015-721-1261
Fax: 001-803-015-721-1262

Malaysia
Phone: 1-800-80-3156
Fax: 1-800-80-3155

Philippines
Phone: 1-800-1-116-0338
Fax: 1-800-1-116-0339

Singapore
Phone: 800-1300-955
Fax: 65-6735-2913

Thailand
Phone: 001-800-1-3-721-1263
Fax: 001-800-1-3-721-1264

Latin America

Brazil
Phone: 000817-762-4732
Fax: 000817-762-4996

Mexico
Phone: 001-800-235-1719
Fax: 001-800-339-1472

Venezuela
Phone: 800-1-4418
Fax: 800-1-4419

Greater China

Beijing
Phone: (86) 10-6505-5066
Fax: (86) 10-6505-5077

Hong Kong
Phone: (852) 2807-2723
Fax: (852) 2807-2152

Shanghai
Phone: (86) 21-3222-4668
Fax: (86) 21-6288-1575

Taiwan
Phone: (886) 2-2716-0338
Fax: (886) 2-2716-0339

E-mail: GCCofic@corning.com

Corning, LEAF and CPC are registered trademarks and SMF-28 is a trademark of Corning Incorporated, Corning, N.Y.

Any warranty of any nature relating to any Corning optical fiber is only contained in the written agreement between Corning Incorporated and the direct purchaser of such fiber.

©2001, Corning Incorporated

Anexo C

**Especificaciones de un Láser y de un Fotoreceptor
PIN Típicamente Utilizados en DWDM**

10 Gb/s Receiver Module InGaAs PIN Pre-Amplifier



PowerExpress™

1915 DMO
PIN-Preamp Receiver

FEATURES

- -18 dBm Maximum Sensitivity
- +0 dBm Minimum Overload
- 11 GHz Typical Bandwidth
- Operation at 1310 nm & 1550 nm Wavelength Windows
- Differential Output Voltage
- DC Coupled Output
- Low Power Consumption

APPLICATIONS

- Used in Telecommunication and Data-Communication Systems, for High-Speed up to 12.5 Gb/s
- STM-64 (Intra-Office & Short-Haul & Long-Haul) and OC-192 (Short-Reach & Intermediate-Reach & Long-Reach) Size Optimized Transceiver and Transponder
- Strong Forward Error Correction (FEC) Applications

Designed to provide high optical performance for ITU-T G.652 standard optical fiber and ITU-T G.653 shifted dispersion fiber applications. The Avanex 1915 DMO consists of a 16-pin, hermetic package, containing a reliable InGaAs PIN photodiode and a SiGe TIA pre-amplifier. Optical signal input is via a single mode optical fiber, coupled to an InGaAs PIN. The Avanex 1915 DMO module family includes field-proven, reliable, InGaAsP PIN photodetector with pre-amplifier in an hermetically sealed package.



OPTICAL AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($\lambda=1.55 \mu\text{m}$, $V_{\text{ee}}=-5.2 \text{ V}$, $V_{\text{oc}}=5 \text{ V}$)

Parameter	Sym	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Operating Case Temperature	T_{c}		-5		+75	$^{\circ}\text{C}$
PM Responsivity	R		0.8	0.85		A/W
Receiver Optical Sensitivity	S	2 ⁻¹ :1 PRBS, NRZ, BER at 10 ⁻¹¹			-18	dBm
Receiver Optical Overload	Pol	2 ⁻¹ :1 PRBS, NRZ, BER at 10 ⁻¹¹	0	2		dBm
PIN Supply Voltage	V_{oc}		4.8	5.0	5.2	V
TIA Power Supply Voltage	V_{ee}		-5.4	-5.2	-5.0	V
TIA Power Supply Current	I_{t}			80	90	mA
Transimpedance	Z_{t}	F = 200 MHz, Pin = -16 dBm	400	400		Ω
Bandwidth	S21	-3 dB from 200 MHz	9	11		GHz
Output Return Loss	S22	0 GHz - 9 GHz			-9	dB
Optical Return Loss	Orl				-35	dB

Optical and electrical characteristics referred to $T_{\text{case}}=25^{\circ}\text{C}$, $\lambda=1550\text{nm}$, 9.96328 Gb/s unless otherwise specified.



D0041_A

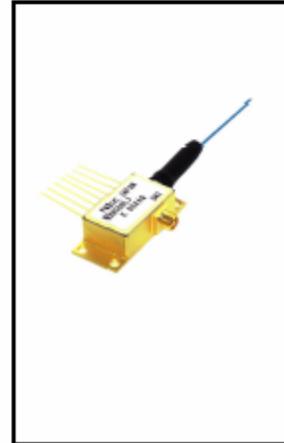
1

**LASER DIODE
NX8560LJ Series****EA MODULATOR INTEGRATED
1 550 nm MQW-DFB LASER DIODE MODULE
FOR 10 Gb/s DWDM APPLICATIONS****DESCRIPTION**

The NX8560LJ Series is an Electro-Absorption (EA) modulator integrated, 1 550 nm Multiple Quantum Well (MQW) structured Distributed Feed-Back (DFB) laser diode module. It is capable of transmitting up to 40 km standard single mode fiber (dispersion: 800 ps/nm) for 10 Gb/s applications with built in wavelength monitor.

FEATURES

- Integrated electroabsorption modulator
- 10 Gb/s transmission up to 40 km SSMF (dispersion: 800 ps/nm)
- Low modulation voltage
- 7-pin butterfly package with GPO™ connector
- Available for DWDM wavelengths based on ITU-T recommendations



The information in this document is subject to change without notice. Before using this document, please confirm that this is the latest version.
Not all devices/types available in every country. Please check with local NEC Compound Semiconductor Devices representative for availability and additional information.

✦ ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS (T_{LD} = T_{set}, T_c = 25°C, BOL, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Laser Set Temperature	T _{set}	*1	20		35	°C
Operating Current	I _{op}		50	60	80	mA
Modulation Center Voltage	V _{center}		-2.0		-0.5	V
Modulation Voltage	V _{mod}			2.0	3.0	V
Forward Voltage of LD	V _{FLD}	I _{FLD} = I _{op}			2.0	V
Threshold Current	I _{th}			7	20	mA
Optical Output Power from Fiber	P _f	Under modulation ²	-3	-2		dBm
Peak Emission Wavelength	λ _p	I _{FLD} = I _{op} , V _{EA} = 0 V, T _{LD} = T _{set}	1 528	ITU-T ³	1 563	nm
Side Mode Suppression Ratio	SMSR	I _{FLD} = I _{op} , V _{EA} = 0 V	30	> 37		dB
Extinction Ratio	ER	Under modulation ²	10	> 11		dB
Rise Time	t _r	20-80%, Under modulation ²			40	ps
Fall Time	t _f	80-20%, Under modulation ²			40	ps
Dispersion Penalty	DP	40 km SMF under modulation ^{2,4}			2.0	dB
Optical Isolation	I _s		23			dB
Input Return Loss	S ₁₁	I _{FLD} = I _{op} , V _{EA} = -1 V, f = 130 MHz to 5 GHz		-10	-8	dB
		I _{FLD} = I _{op} , V _{EA} = -1 V, f = 5 to 10 GHz		-8	-5	

*1 NX8560LJ Series : T_{set} is a certain point between 20 and 35°C

NX8560LJxxx Series : T_{set} is set at a certain point between 20 and 35°C for ITU-T grid wavelength

*2 40 km SMF under modulation, 9.95328 Gb/s, PRBS 2²³-1, V_{EA} = V_{center} ± 1/2V_{mod}, I_{FLD} = I_{op}, NEC Test System

V_{center} : a certain point between -2.0 and -0.5 V

V_{mod} : a certain point 3 V or below

I_{op} : a certain point between 50 and 80 mA

*3 Available for DWDM wavelengths based on ITU-T recommendations (100 GHz grid).

Please refer to ORDERING INFORMATION.

*4 BER = 10⁻¹⁰

Anexo D

Matriz de Cumplimiento de los Equipos DWDM

Evaluados Teóricamente

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
<p>1.- El equipo DWDM posee un conjunto de interfaces que le permite servir de plataforma de transporte de alta capacidad, confiable y transparente. ¿Su sistema DWDM dispone de las siguientes interfaces?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptadores de longitudes de onda (WLA's) o Transponders. • Interfaz coloreada. • Tarjeta Multi-rate. 	<p>Los equipos DWDM 1696 MetroSpan y 1686 WM poseen Adaptadores de longitud de Onda-(WLA). Existen distintos tipos de WLA o transponders por cada tipo de equipamiento, la diferencia consiste en el uso que se le dará al mismo; por ejemplo existen transponders a 2,5 Gb/s con o sin FEC (Forward Error Control), transponders a 10 Gb/s, transponders concentradores a 4x2,5 Gb/S, transponders para interfaces asincrónicas, transponders regenerativos y transponders Concentradores Multi-rate 4xANY. Cada transponder posee dos interfaces una del lado equipo (también denominada Black & White) con distintos tipos de interfaces especificadas por la ITU-T (por ejemplo S-16.1, L-16.2 o S-64.2); la otra interfaz (lado DWDM) se conecta al MUX/DEMUX (también llamada Interfaz Coloreada).</p>	Si cumple	10
<p>2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta Adaptadora de longitud de onda (WLA):</p>			
<p>a) ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?</p>	<p>El 1686WM puede transportar hasta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 32 señales de 2.5 Gbps. • 32 señales de 10 Gbps. <p>Para tener 32 señales monocromáticas se requieren ocho sub-bastidores. Con la ayuda de la tarjeta concentradora de 4X2.5 Gbps se puede transportar hasta 128 señales de 2.5 Gbps.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima exigida es de 16 canales.	10
<p>b) ¿Cuántas tarjetas Adaptadoras de longitudes de onda (WLA's) soporta un sub-rack?</p>	<p>Para señales de 2.5 Gbps se instalan 8 WLAs (4 TX y 4 RX). Para señales de 10 Gbps se instalan 4 (cada tarjeta soporta la TX y la RX). Se requieren hasta 8 sub-bastidores para equipar 32 λ con los WLA de 2.5 Gbps o con los WLA de 10 Gbps.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima por sub-rack es de 8 transponder.	5
<p>c) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?</p>	<p>La interfaz STM-16 cumple con las recomendaciones UIT-T G.957 y G.707</p>	Si cumple	10
<p>d) ¿Indique si los WLA's tienen control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.</p>	<p>En función del tipo de enlace a realizar existen distintos tipos de transponders con capacidades de hasta 3200 ps/nm, 6400 ps/nm o 12800 ps/nm; los cuales permiten el control de la dispersión cromática especialmente producida por fibras ópticas del tipo G.652. En caso de un enlace supere el valor de dispersión cromática permitido por un determinado tipo de transponder es factible la utilización de compensadores de dispersión cromática (DCM).</p>	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:			
a) ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, FibreChannel, Fiber Coupling, Digital Video, IP, Frame Relay y ATM?	Se tiene la tarjeta 4XAny (1696WM) que permite concentrar en una λ a 2.5 Gbps 4 señales de datos combinadas (FE, FDDI, ESCON, DV, STM-1, STM-4, GbE y FC), estas señales requieren de unos cartuchos que acoplan las diferentes interfaces ópticas a la tarjeta 4xAny. Se tiene la tarjeta MCC (Multi Clock Card) que permite el transporte de canales que van desde los 100 Mbps hasta 2.5 Gbps permitiendo la incorporación de cualquier tráfico entre los rangos mencionados, como (STM-1, STM-4, STM-16, 2GbE, 2FC, FC). La señal de 2.5 Gbps de la tarjeta 4XAny es B&W y se debe conectar a un WLA STM-16 del 1686WM para colorearla. La tarjeta MCC tiene una interfaz de usuario S-16.1, donde el rango de la longitud de onda para TX y RX es amplio y va desde 1260 nm a los 1360 nm.	Si cumple	10
b) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957, G.958 y G.707?	Si cumple. La tarjeta Multi-rate al igual que los transponder WLA traducen las señales G.957 al estándar establecidos en la G.692.	Si cumple	10
c) ¿Señalar las recomendaciones UIT que cumplen con las interfaces?	Adicionalmente a las indicadas en el presente documento se tienen la G.825 asociada al jitter y G.681 asociada a la seguridad óptica.	Si cumple	5
d) ¿La tarjeta Multi-rate puede ser instalada en el mismo sub-bastidor DWDM o requiere un sub-bastidor adicional?	Si las tarjetas Multi-rate pueden ser instaladas en el mismo sub-bastidor DWDM.	Si cumple	5
4.- En caso de que el equipo disponga de tarjetas coloreadas:			
a) ¿La señal esta coloreada o canalizada según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación UIT-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF?	Las señales que ingresan a los MUX/DEMUX se encuentran canalizadas dentro de lo especificado por la recomendación ITU-T G.692.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora / Demultiplexora del equipo DWDM:			
a) ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?	La capacidad mínima de transporte es una lambda sea a 2,5Gb/s o a 10Gb/s. La cantidad máxima de longitudes de onda transportada por cada tipo de equipo es de 32 lambdas. El espaciado de canales depende de la capacidad final deseada sobre la red, por ejemplo una red diseñada para una capacidad final de 16 canales puede ser espaciado a 100Ghz o a 200Ghz, una red diseñada para 32 lambdas posee un espaciado de 100Ghz.	Si cumple	10
b) ¿Qué velocidades son soportadas por cada canal?	El sistema puede ser diseñado para transportar señales a 2.5 Gbps, a 10 Gbps o los dos tipos de señales.	Si cumple, ya que la máxima velocidad de transmisión exigida es un STM-64.	5
c) ¿En que banda (s) opera el equipo?	El 1686WM opera en la banda C.	Si cumple, ya que la banda requerida es la C.	5
d) ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?	Solo opera en la C.	No cumple	0
6.- ¿Qué tipo de tecnología o componentes pasivos es empleado por el equipo DWDM para la etapa de multiplexación y demultiplexación? Ejemplo: Prism Refraction, Waveguide Grating Diffraction, Arrayed Waveguide Gratings, etc.	Utiliza Dielectrical Thin Filter.	Si cumple, ya que el mux/demux con Dielectrical Thin Filter es aceptable hasta 16 canales debido a las pérdidas de inserción y la dispersión que estos generan a altas cantidades de canales. También la modularidad mínima que ofrece es de 8 canales.	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
<p>7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos, en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF? ¿Indique las relaciones existentes entre las distancias del enlace y los números máximos de longitudes de onda?</p>	<p>El span budget por equipo/fibra: Fibra G.652/1696MW: Cap. de 16 λ @ 2.5 Gbps= 43.5dB Cap. de 16 λ @ 10 Gbps= 38dB Cap. de 32 λ @ 2.5 Gbps= 41dB Cap. de 32 λ @ 10 Gbps= 35dB Fibra G.655/1696MW: Cap. de 16 λ @ 2.5 Gbps= 43.5dB Cap. de 16 λ @ 10 Gbps= 35dB Cap. de 32 λ @ 2.5 Gbps= 41dB Cap. de 32 λ @ 10 Gbps= 35dB</p>	<p>Si cumple, ya que la exigencia mínima es un span budget de 25 dB para 32 canales @ 2.5 Gbps</p>	<p>10</p>
<p>8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?</p>	<p>Los parámetros utilizados son: Característica de la fibra, topología de la red, cantidad de spans, longitud de los spans, cantidad de ODFs, cantidad de λ que transporta el sistema, tipo de sistema requerido (a 2.5 Gbps o a 10 Gbps), matriz de tráfico (origen y fin de cada λ), cantidad de λ que transporta el sistema inicialmente. Con estos parámetros se calculan las características de cada span por medio de las tablas span budget, las cuales son simuladas en un software de Alcatel. Cada enlace, una vez conocido sus parámetros reales como (atenuación, dispersión cromática y PMD) es configurado y probado en la fabrica, previo a la instalación del enlace en campo.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>
<p>9.- ¿Cuál es el máximo alcance y numero de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores Intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?</p>	<p>En fibra G.652/1686MW: Cap 32 λ @ 2.5 Gbps= 7 span de 32 dB Cap 32 λ @ 10 Gbps= 6 span de 24 dB En fibra G.655/1686MW: Cap 32 λ @ 2.5 Gbps= 5 span de 34.5 dB Cap 32 λ @ 10 Gbps= 6 span de 25 dB Un parámetro importante es la cantidad de lambdas que el sistema soportara inicialmente y la cantidad de lambdas que soportara finalmente. Por ejemplo si en un sistema que se prevé que se instalaran 32 lambdas (o diseñado para esa cantidad) se pueden realizar 8 spans, si inicialmente se instalan 4 lambdas podría resultar solo necesario utilizar 5 spans inicialmente para cubrir la misma distancia, para luego al ampliarse la red instalar los ILA no requeridos inicialmente.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
10.- ¿El Amplificador óptico utilizado por equipo DWDM en el transmisor y/o receptor cumple con la recomendación UIT-T G.662 (secciones 10 y 11) y G.663?	El amplificador óptico cumple con las recomendaciones requeridas.	Si cumple	5
11.- ¿Cuales son los valores nominales que posee el equipo DWDM en cuanto a la potencia de salida del amplificador (Booster) y la sensibilidad del receptor?	Alcatel posee distintos amplificadores ópticos, con potencia de salida de +17 dBm o de +20 dBm para el 1686WM y de +17 dBm para el 1696WM. La sensibilidad del receptor en el 1686WM es de -22 dBm para el WLA @ 2.5 Gbps con FEC y de -21 dBm para el WLA @ 10 Gbps. En el 1696WM se tiene -25 dBm en la tarjeta MCC1 y de -23 dBm en la MCC2.	Si cumple	5
12.- ¿El equipo DWDM es capaz de generar alarmas como ISOL (Input Signal Out Level) y LOS (Loss of Signal) al deteriorarse la señal a la entrada de los adaptadores de longitud de onda (WLA's) en el lado receptor? ¿Qué tipos de señales se generan?	Los equipos DWDM generan alarmas del tipo ISOL y ILOS (Loss of input signal); las cuales generan eventos, alarma URG o NURG según corresponda, que son visualizadas en el sistema de gestión.	Si cumple	10
13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al numero de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del numero de canales?	El 1686WM emplea un canal de saturación el cual permite mantener la potencia de entrada y salida del amplificador constante independientemente del número de canales.	No cumple totalmente, ya que el control de ganancia consiste en mantener constante la potencia de salida total, más no de cada canal de forma independiente. El hecho de utilizar un canal de saturación implica tener un canal adicional a los de tráfico, y su λ es 1545 nm.	3

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
14.- ¿El equipo DWDM esta en la capacidad de ejecutar el procedimiento ALS (Automatic Laser Shut Down), tal como lo establece la recomendación UIT-T G.958 (Sistemas de Líneas Digitales basadas en la jerarquía digital síncrona para su utilización en cables de fibra óptica) ?	Los equipos Alcatel cumplen con la recomendación G.958, y en enlaces que no tengan OADM los equipos también cumplen con la recomendación G.681	Si cumple	5
15.- En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:			
a) ¿Cuántas configuraciones permite implementar? Ejemplo: Estándar, Expandida, Single-Channel, etc.	El equipo permite implementar 7 configuraciones: Estándar: de 1 a 8 canales con booster y pre-amplificador, con o sin repetidores. Expandida: de 1 a 16 canales con booster, pre-amplificador y repetidores. Metropolitana de 8 canales: de 1 a 8 canales sin booster ni repetidores, solo pre-amplificadores. Metropolitana de 16 canales: de 1 a 16 canales sin booster ni repetidores, solo pre-amplificadores. Short-Metro de 8 canales: de 1 a 8 canales sin booster, pre-amplificadores y sin repetidores. Short-Metro de 16 canales: de 1 a 16 canales sin booster, pre-amplificadores y sin repetidores. Single-Channel: solo un canal con el equipo, donde el mínimo de tarjetas necesarias es: expansión, booster, pre-amplificador.	Si cumple	5
b) En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar numero de piezas en repuestos?	El equipo DWDM se instala sobre bastidores Optinex al igual que los nodos multiservicio Alcatel, las demás partes comunes son solo utilizadas en los equipos DWDM.	No cumple	0
c) Al reemplazar las tarjetas en el equipo. ¿Qué tipo restablecimiento ofrece el equipo? Ejemplo: automático, forzado.	El restablecimiento es automático.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
16.- En cuanto a la topología de red:			
a) ¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?	El sistema 1686WM permite implementar una topología punto a punto con una protección 1+1 a nivel del canal óptico (OCh), que se logra a través de la tarjeta OCP (Optical Channel Protection).	Si cumple, pero no completamente ya que el esquema de protección es a nivel del canal óptico más no de la sección óptica multiplexada.	7
b) ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2f, BLSR/4f?	Los equipos DWDM permiten topologías en anillo del tipo: UPSR, BLSR/2F y BLSR/4F.	No cumple totalmente, ya que el equipo permite implementar la protección en la capa SDH/SONET mediante UPSR, BLSR/2F o BLSR/4F usando a DWDM como capa de transporte, solo ofrece protección en la capa óptica del tipo OBPSR y OSNCP.	5
17.-¿El equipo DWDM además de ser utilizado como terminal puede ser configurado como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) e ILA (In Line Amplifier)? ¿En el caso de poder ser configurado como un OADM cuantos canales se pueden extraer/insertar? ¿Para la configuración ILA señalar que técnica es usada para la supervisión remota de este sistema y que recomendación de la UIT se sigue para tal fin?	El sistema DWDM puede ser configurado como terminal, OADM, y regenerador. Las estaciones ILA puede ser migradas a estaciones OADM. El 1686MW como OADM puede insertar/extraer hasta 16 canales (8 por dirección). La gestión del ILA es posible por la existencia de un canal de supervisión óptico (OSC) que se extrae antes de la amplificación y se inserta después de la amplificación, lo que da el beneficio de la gestión en caso de que falle el amplificador. El OSC tiene una $\lambda=1480$ nm y 1510 nm.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
18.-¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?	La protección automática 1:N es posible en SDH eléctricos, al tratarse de señales ópticas la protección disponible es de 1+1.	Si cumple	5
19.- En cuanto a la capacidad de integración del equipo DWDM: ¿El equipo puede ser interconectado con los equipos existentes en la red SDH de TELCEL BELLSOUTH de los proveedores ECI y Alcatel?	Los equipos DWDM Alcatel pueden ser interconectados con los nodos multiservicio provistos a Telcel y otros proveedores que cumplan completamente con las recomendaciones ITU-T mencionadas.	Si cumple	5
20.-¿Su equipo dispone de canales de servicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11?	Los equipos DWDM Alcatel poseen dos canales de servicio V.11 o G.703 a 64 Kbps; también se encuentran disponibles alarmas de housekeeping (8 entradas y 8 salidas).	Si cumple	5
21.- En cuanto al sistema de gestión a nivel general:			
a) ¿El equipo dispone de software de gestión?	Todos los equipos Alcatel (nodos multiservicio, DWDM, etc.) son gestionados bajo una misma plataforma de gestión TMN. La plataforma de gestión esta formada por el gestor a nivel del elemento de red (1353SH) y el gestor a nivel de red (1354RM), siendo sobre este donde se encuentra el software para la gestión de los elementos de red. También se encuentra disponible para redes pequeñas una gestión básica realizada por medio de una Craft Terminal.	Si cumple	10
b) ¿El sistema de gestión y su arquitectura cumple con la recomendación UIT-T G.784?	Cumple con la ITU-T G.784 / G.826	Si cumple	10
c) ¿El equipo puede ser gestionado por el software disponible en TELCEL BELLSOUTH?	El equipo DWDM Alcatel puede ser gestionado por la plataforma de gestión disponible en Telcel (NR5.1B), pudiendo algunas determinadas funcionalidades ser disponible en releases superiores.	Si cumple	5
d) ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?	Por las características de los niveles de seguridad del sistema de gestión, no se prevé el acceso a la plataforma por medio de aplicaciones basadas sobre la Web.	No cumple	0
e) ¿El sistema puede generar mapas de visualización de los eventos?	La plataforma de gestión Alcatel permite generar mapas para la visualización de eventos.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
f) ¿La plataforma de gestión de su sistema DWDM es compatible TMN y configurado por capas y áreas funcionales según la recomendación UIT-T M3010?	La plataforma de gestión cumple con la recomendación ITU-T M3010.	Si cumple	10
g) ¿Cuál es la escalabilidad del sistema de gestión? ¿Cuántos elementos de red pueden ser manejados simultáneamente con varias aplicaciones y arreglos de software licenciados?	La escalabilidad de la plataforma en términos de cantidad de cantidad de elementos gestionados es garantizada por el tipo de plataforma utilizada, donde a medida que aumentan los recursos requeridos por el sistema la misma puede ampliarse. La cantidad de elementos gestionados es garantizada por el tipo de plataforma utilizado, donde a medida que aumentan los recursos requeridos por el sistema la misma puede ampliarse. La capacidad de la plataforma de gestión se define en términos de TPM's (transacciones por equipo). Cada equipo DWDM tiene un peso sobre el sistema de gestión de (7+0.15 X la cantidad de canales).	Si cumple	5
h) ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?	El sistema de gestión posee una interfaz abierta Q3 para la comunicación entre los elementos de red y el gestor de elementos de red 1353SH. Cumple con las recomendaciones Q.811 y Q.812 utilizando como interfaz física la RS-232 para la interfaz F que utiliza la Craft Terminal y la interfaz Q3 utiliza como medio físico Ethernet. La plataforma de gestión cumple con las Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T. Por medio de las interfaces loo e Isn se realiza la exportación de datos hacia otros sistemas de gestión. El sistema de gestión 1353SH se comunica con los Nes a través del conjunto de protocolos OSI, excepto para los Nes SNMP, para el cual utiliza el conjunto de protocolos TCP/IP.	Si cumple	10
i) ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?	La capacidad de transporte de alarmas externas de cada elemento de red DWDM es de 8 entradas y 8 salidas, siendo la cantidad total de alarmas dependiente del número de equipos DWDM.	Si cumple	5
j) ¿El sistema de gestión posee interfaces u opciones que permitan integrarse con sistemas como SQL de acceso directo a la base de datos?	El sistema de gestión posee la interfaz loo e Isn para la exportación de alarmas en formato ASCII hacia otros sistemas de gestión o sistemas de base de datos. La loo exporta datos asociados al monitoring performance, alarmas y network element inventory, y la Isn los datos asociados a la configuración de la red, byte B1, etc.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
k) ¿A través de la gestión de red o gestión local mediante un Craft Terminal se puede realizar telemidas para tener control de los niveles presentes en el equipo? Como por ejemplo medir la corriente promedio del láser.	La plataforma de gestión no contempla la posibilidad de hacer telemidas.	No cumple	0
l) ¿El sistema de gestión de red o local permite realizar carga remota de software?	El sistema de gestión de red permite realizar la carga de software sobre cada elemento de red.	Si cumple	10
m) ¿Su sistema de gestión puede interactuar con un sistema de gestión de orden superior y dispone de las interfaces abiertas para ello?	El sistema de gestión posee interfaces abiertas de exportación de datos hacia otros sistemas de gestión	Si cumple	10
n) ¿ El equipo dispone de alguna interfaz F que permita el manejo del enlace través de un Craft Terminal o CID (Craft Interface Devive)? En el caso de poseer dicha interfaz: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? • ¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? • ¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? 	Se encuentra disponible una interfaz F para la conexión de una craft terminal. Por medio de la craf terminal cada nodo puede realizar una gestión de hasta 32 elementos de red. Todas las alarmas generadas directamente son reportadas. A la craft terminal son reportadas las configuraciones completas de cada elemento de red.	Si cumple	10
22.- El sistema de gestión al nivel de la configuración:			
a) ¿Permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local (Craft Terminal), como desde el sistema de gestión de red?	Si, permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local como desde el sistema de gestión de red	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda?	Sí, el sistema de gestión permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda.	Si cumple	10
c) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio?	Sí, el sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio.	Si cumple	10
d) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red (nodos, enlaces físicos y lógicos)?	Sí, el sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red	Si cumple	5
23.- El sistema de gestión al nivel del desempeño:			
a) ¿Cómo obtiene y evalúa las condiciones de los recursos de la red?	El sistema de gestión a través de la función Remote Inventory evalúa las condiciones de los recursos de la red.	Si cumple	5
b) ¿Genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según lo especificado en la recomendación UIT-T G.783? Estas estadísticas de desempeño deben incluir como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821. • Reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas. 	Si genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según la norma G. 783.	Si cumple	10
c) ¿Cómo realiza el desempeño de la conmutación a protección?	La conmutación debida a una protección se indica por medio de la correspondiente alarma y se visualiza sobre la representación gráfica del elemento. El criterio de conmutación es el LOS y el tiempo de conmutación óptica es tan rápido como uno cuantos milisegundos.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:			
a) ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?	El sistema provee monitoreo de las interfaces y alarmas externas.	Si cumple	10
b) ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?	Para ello utiliza el parámetro TCA (Threshold Crossing Alarm).	Si cumple	5
c) ¿Puede realizar rutinas de pruebas y diagnostico que permitan aislar fallas rápidamente?	Por medio de la funcionalidad de Alarm Surveillance se realiza el diagnostico que permite de manera fácil determinar el origen de una falla, haciendo innecesario la realización de rutinas de prueba.	Si cumple	10
d) ¿Permite hacer corrección de fallas?	El sistema de gestión permite hacer corrección de fallas, por ejemplo redireccionando tráfico.	Si cumple	10
e) ¿Puede generar históricos de fallas?	El sistema de gestión realiza históricos de fallas.	Si cumple	10
f) ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?	Las funciones de Trouble Ticket son realizadas por sistemas externos del tipo ARS Remedy o por la funcionalidad Alarm Surveillance.	No cumple	0
25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:			
a) ¿Posee la opción de gateway de seguridad para filtrar el tráfico de entrada y salida de servicios?	Los mecanismos de seguridad se encuentran asociados al software de base de la plataforma de gestión HP-Unix.	Si cumple	10
b) Puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Prevención. • Detección. • Autenticación. • Autorización. • Contención y recuperación. 	Se encuentran disponibles las funciones de prevención, detección, autenticación, autorización y recuperación.	Si cumple	10
c) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?	El sistema de gestión no permite el acceso al mismo vía Internet.	No cumple	0

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
<p>d) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los siguientes cuatro niveles de acceso a los elementos de la red?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1: Acceso de sólo lectura para ver las alarmas e información de desempeño. • Nivel 2: Adicional al nivel 1, permite el uso de herramientas de diagnóstico y pruebas. • Nivel 3: Acceso de lectura y escritura, más el control total de los equipos propuestos (aprovisionamiento, información de monitoreo y control, etc.). • Nivel 4: Adicional al nivel 3, que cuente con todas las funciones de administración. 	<p>Si tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los cuatro niveles de acceso a los elementos de la red.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>e) ¿Genera registro de los históricos de acceso a los elementos de la red?</p>	<p>El sistema de gestión genera históricos de acceso a los elementos de la red.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>26.- En cuanto a los requerimientos mecánicos, ambientales y de energía:</p>			
<p>a) ¿El cableado de fibra en el equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas y rejillas?</p>	<p>Si el cableado de fibra del equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas y rejillas.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>
<p>b) ¿Los equipos DWDM pueden ser instalados en los bastidores de los equipos SDH/PDH que posee TELCEL BELLSSOUTH instalados en su red de transporte?</p>	<p>Los equipos DWDM son instalados sobre bastidores Optinex al igual que los nodos multiservicio. El optinex rack (mm): 2200 high X 600 wide X 300 deep. Master shelf (mm): 450 high X 482 wide (19"). Optional shelf (mm). 450 high X 482 wide (19") para WLA de 2.5 Gbps. Optional shelf (mm). 450 high X 533 wide (21") para WLA de 10 Gbps.</p>	<p>Si cumple. Los sub-bastidores pueden ser instalados en bastidores que posee Telcel Bellsouth pero es recomendable que se instalen en sus propios bastidores.</p>	<p>5</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ALCATEL 1686WM (continuación)		
PREGUNTAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACION	PTOS
c) ¿Qué condiciones ambientales soporta el equipo DWDM en cuanto a la temperatura y la humedad?	Condición de almacenamiento: ETS 300 019 class 1.2. Condición de transporte: ETS 300 019 class 2.2. Condición de operación: ETS 300 019 class 3.2.	Si cumple	5
d) ¿Cuál es el consumo de energía del equipo DWDM y como es su sistema de alimentación?	Para el 1686WM: El consumo máximo de un sub-bastidor WLA totalmente equipado con transponder a 10 Gbps es de 400 W. El rango de alimentación es de -40.5 Vcc a -72 Vcc. Para el 1696WM: El consumo de un sub-bastidor equipado con 16 transponder es de 400 W. El rango de alimentación es de -36 Vcc a -72 Vcc.	Si cumple	5
27.- ¿Dispone de personal capacitado en el país para prestar soporte técnico, de manera de dar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier problema que se presente? ¿Especifique la estructura del departamento de soporte técnico?	Alcatel dispone localmente de personal especializado en la tecnología DWDM y su integración a plataforma SDH y de gestión instalada. La estructura de soporte técnico está centralizada en el Customer Service Center de Alcatel de Venezuela.	Si cumple	5
28.- ¿El equipo DWDM cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T?	Los equipos DWDM cumplen con los diversos estándares internacionales.	Si cumple	5
Subtotal de las preguntas críticas.			342
Subtotal de las preguntas no críticas.			143
Total de la matriz de cumplimiento.			485

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>1.- El equipo DWDM posee un conjunto de interfaces que le permite servir de plataforma de transporte de alta capacidad, confiable y transparente. ¿Su sistema DWDM dispone de las siguientes interfaces?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptadores de longitudes de onda (WLA's) o Transponders. • Interfaz coloreada. • Tarjeta Multi-rate. 	<p>El XDM esta diseñado para soportar sobre un mismo shelf interfaces SDH desde STM-1 hasta STM-64 para el manejo de redes de acceso y redes de transporte de alta capacidad. Esta diseñado además para soportar sobre el mismo shelf interfaces PDH, SONET, GbE y toda la plataforma para DWDM.</p> <p>El shelf del XDM puede soportar los siguientes componentes para DWDM; mux/demux, transponders, OFA (Optical Fiber Amplifiers).</p> <p>Para los equipos de la línea Syncom como para el XDM las interfaces STM-16 pueden ser coloreadas para el caso de que se desee integrarlas directamente sobre un sistema DWDM sin la necesidad de utilizar transponder.</p> <p>En cuanto a la tarjeta Multi-Rate el XDM puede soportar además de los módulos para DWDM hasta 12 tarjetas para el manejo interfaces PDH, SDH/SONET.</p>	Si cumple	10
<p>2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta Adaptadora de longitud de onda (WLA):</p>			
<p>a) ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?</p>	<p>Sobre un mismo shelf del XDM-1000 se pueden colorear 24 señales de 2.5 Gbps o 12 señales de 10 Gbps. Estas señales pueden ser llevadas al mux/demux ubicado sobre ese mismo bastidor.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima exigida es de 16 canales, pero no tienen un concentrador de 4 señales STM-16 (G.957) a una STM-64 (G.692).	8
<p>b) ¿Cuántas tarjetas Adaptadoras de longitudes de onda (WLA's) soporta un sub-rack?</p>	<p>En el shelf del XDM se pueden colocar hasta 12 transponder para señales (STM-1, STM-4 o STM-16) con dos interfaces por cada transponder, y hasta 12 transponder para señales STM-64 con una interfaz por cada transponder. Las tarjetas pueden ser colocadas en cualquier slot dentro del equipo.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima por sub-rack es de 8 transponder.	5
<p>c) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?</p>	<p>La interfaz STM-16 cumple con la G.957 (niveles de potencia en los transmisores) y con la G.707 (interfaces para redes SDH).</p>	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
d) ¿Indique si los WLA's tienen control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.	Los transponder están diseñados para reconstruir, amplificar y resincronizar la señal, por lo cual, corrigen la dispersión presente en la señal recibida. El rango de dispersión depende del tipo de transponder. Para los transponder de 2.5 Gbps se tiene: 200, 1800, 3000 y 10800 ps/nm. Para los transponder de 10 Gbps se tienen: 100 y 700 ps/nm.	Si cumple	10
3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:			
a) ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, FibreChannel, Fiber Coupling, Digital Vídeo, IP, Frame Relay y ATM?	El XDM esta diseñado para servir de plataforma de manejo de redes de acceso PDH y SDH así como redes de transporte SDH y DWDM. Debido a esto el XDM soporta tarjetas para el manejo de interfaces de 2, 34, 45 y 140 Mbps, STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64.	No cumple totalmente. Los transponder del XDM soportan SDH, SONET, PDH, ATM, IP y Gigabit Ethernet en velocidades de transmisión desde los 34 Mbps hasta 2.5 Gbps o 10 Gbps. Dos tipos de transponder están disponibles uno para velocidades de hasta 2.5 Gbps y otro hasta 10 Gbps. El transponder para señales estándar realiza una regeneración del tipo 3R y para las no estándar del tipo 2R.	5
b) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	Las interfaces STM-1, STM-4 y STM-16 cumplen completamente con la recomendación UIT-T G.957, G.958 y G.707.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) ¿Señalar las recomendaciones UIT que cumplen con las interfaces?	STM-1 y STM-4: G.957/G.692; STM-16: G.957/ G.692 STM-64: G.691, G.957 y G.692. G.652, G.655.	Si cumple	5
d) ¿La tarjeta Multi-rate puede ser instalada en el mismo sub-bastidor DWDM o requiere un sub-bastidor adicional?	Las interfaces para DWDM, SDH/SONET y PDH trabajan sobre un mismo bastidor de XDM.	Si cumple	5
4.- En caso de que el equipo disponga de tarjetas coloreadas:			
a) ¿La señal esta coloreada o canalizada según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación UIT-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF?	Las tarjetas de agregado ASF16 de la familia de multiplexores Syncom SDM-16 de ECI pueden ser adquiridas para una longitud de onda específica para que se conecten directamente sobre los módulos de DWDM ubicados sobre el XDM, así mismo las tarjetas del XDM para STM-16 y STM-64 pueden ser adquiridas para longitudes de onda específicas y ser conectadas directamente sobre el modulo de DWDM, pero en ningún caso estas tarjetas pueden trabajar directamente sobre bastidores de otros fabricantes.	Si cumple	10
5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora / Demultiplexora del equipo DWDM:			
a) ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?	Un módulo MUX/DEMUX puede tener como mínimo capacidad para realizar Add/Drop de 16 canales con expansión a 32 canales. En cuanto al máximo numero de canales un MUX/DEMUX puede manejar un máximo de 40 canales con un espaciamiento entre canales de 100 GHz.	Si cumple. El módulo para 16 canales con o sin expansión es una misma tarjeta para mux/demux. El módulo para 40 canales es una tarjeta para mux y otra para demux.	10
b) ¿Qué velocidades son soportadas por cada canal?	Puede manejar señales desde un STM-1 hasta unSTM-64	Si cumple, ya que la máxima velocidad de transmisión exigida es un STM-64.	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
C) ¿En que banda (s) opera el equipo?	Los equipos operan en la banda C (banda roja y azul).	Si cumple	5
d) ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?	Solo opera en la banda C.	No cumple	0
6.- ¿Qué tipo de tecnología o componentes pasivos es empleado por el equipo DWDM para la etapa de multiplexación/Demultiplexación? Ejemplo: Prism Refraction, Waveguide Grating Diffraction, Arrayed Waveguide Gratings, etc.	<p>Dependiendo de la aplicación que se requiere se dispone de tres tipos diferentes de tecnologías:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Star Coupler (Se utiliza solo como Mux). • Bragg Diffraction Grating (Mux/Demux). • Arrayed waveguide Filter Grating (Mux/Demux). <p>El criterio de selección dependerá del presupuesto de potencia y del costo del mismo.</p>	Si cumple, ya que las tecnologías ofrecidas ofrecen un balance entre el número de canales que soporta el mux/demux y las respectivas pérdidas de inserción. También es aceptable, ya que la modularidad mínima que ofrece es de 16 canales.	10
7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos, en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF? ¿Indique las relaciones existentes entre las distancias del enlace y los números máximos de longitudes de onda?	Para un sistema de 40 canales STM-16, sin el uso del booster, ILA y preamplificador, se puede obtener una distancia de 100 Km aprox. A medida que se disminuya el numero de canales puede lograrse una mayor distancia siempre y cuando se utilice el mismo tipo de tecnología en los módulos mux/demux.	No cumple totalmente, ya que la exigencia mínima es un span budget de 25 dB para 32 canales @ 2.5 Gbps	5
8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?	Se toma en cuenta principalmente la atenuación y la ganancia del sistema. La dispersión se toma en cuenta para largas distancias y velocidades de TX superiores a los 2.5 Gbps. De acuerdo a la atenuación de la fibra dada por el fabricante, las pérdidas de los elementos del sistema como empalmes, y pérdidas de inserción de los mux/demux, DCF, OADM, etc. Se realiza la selección de diferentes módulos y tarjetas que permitan cumplir con el presupuesto de potencia. Para el cálculo de la dispersión del sistema se utiliza la dada por el fabricante según el tipo de fibra, y de acuerdo a este parámetro se realiza la selección de tarjetas y módulos para compensar la dispersión del trayecto.	No cumple totalmente, ya que no especifico si disponen de alguna herramienta para la simulación del sistema a implementar.	1

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
9.- ¿Cuál es el máximo alcance y número de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores Intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?	Utilizando un booster se puede alcanzar hasta 160 km y utilizando además varios ILA se puede alcanzar hasta 700 km.	Si cumple	10
10.-¿El Amplificador óptico utilizado por equipo DWDM en el transmisor y/o receptor cumple con la recomendación UIT-T G.662 (secciones 10 y 11) y G.663?	Si cumple con las recomendaciones G.662 y G.663 para características y aplicaciones de OFA.	Si cumple	5
11.-¿Cuales son los valores nominales que posee el equipo DWDM en cuanto a la potencia de salida del amplificador (Booster) y la sensibilidad del receptor?	La potencia de salida del amplificador es de 17 dBm, mientras que la sensibilidad del receptor dependerá del tipo de tarjeta y configuración utilizada. Entonces para una sensibilidad de (10 E-12): Tipo P: 2.5 Gbps -> -18 dBm. 10 Gbps -> -16 dBm. Tipo A: 2.5 Gbps -> -34 dBm. 10 Gbps -> -23 dBm.	Si cumple	5
12.- ¿El equipo DWDM es capaz de generar alarmas como ISOL (Input Signal Out Level) y LOS (Loss of Signal) al deteriorarse la señal a la entrada de los adaptadores de longitud de onda (WLA's) en el lado receptor? ¿Qué tipos de señales se generan?	Efectivamente cada uno de los transponders o interfaces para el manejo de señales STM-n son capaces de generar alarmas de LOS y para problemas en la señal de entrada.	Si cumple	10
13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al número de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del número de canales?	La máxima potencia de salida del booster es de 17 dBm y una ganancia máxima de 17 dB. La potencia de salida del booster no depende del número de canales por lo cual durante la etapa de diseño del sistema debe tomarse en cuenta el crecimiento del sistema debido a que la potencia de salida del booster es fija.	No cumple totalmente. Este sistema controla la potencia de salida del amplificador, y la ganancia baja cuando el número de canales incrementa, y por ende, la potencia por canal también decrecerá.	1

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
14.-¿El equipo DWDM esta en la capacidad de ejecutar el procedimiento ALS (Automatic Laser Shut Down), tal como lo establece la recomendación UIT-T G.958 (Sistemas de Líneas Digitales basadas en la jerarquía digital síncrona para su utilización en cables de fibra óptica) ?	Cada uno de los transponder o interfaces para el manejo de señales STM-n pueden ejecutar automáticamente el procedimiento ALS. Esta función puede ser habilitada o deshabilitada mediante el software de gestión para cada una de las interfaces.	Si cumple	5
15.-En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:			
a) ¿Cuántas configuraciones permite implementar? Ejemplo: Estándar, Expandida, Single-Channel, etc.	<p>En cuanto al bastidor para la colocación del sistema existen tres tipos diferentes para la colocación de módulos y tarjetas PDH, SDH/SONET y DWDM. Estos difieren en cuanto al numero total de tarjetas y módulos que pueden ubicarse sobre el bastidor y dependerá del tipo de aplicación que se desee implementar. Estos bastidores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • XDM-500 • XDM-1000 • XDM-2000 <p>El sistema DWDM puede estar diseñado para iniciar con una aplicación inicial de 8 canales y realizar posteriormente un upgrade a 16 y 32 canales sin afectar el funcionamiento del mismo. El sistema también puede ser diseñado para trabajar inicialmente con 40 canales. En cuanto al crecimiento del sistema para el manejo de señales STM-16 o STM-64 dependerá de la capacidad de slots libres dentro del bastidor.</p>	El equipo solo dispone de tarjetas mux/demux de 16, de 16 expandible a 32 y 40 canales.	1
b) En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar numero de piezas en repuestos?	Las tarjetas para interfaces SDH son las mismas utilizadas por cualquier equipo XDM, en caso de que el equipo no posea interfaces coloreadas solo es necesario cambiar el módulo óptico o utilizar un transponder, pero en ningún caso se requiere un reemplazo de la tarjeta madre.	Si cumple	5
c) Al reemplazar las tarjetas en el equipo. ¿Qué tipo restablecimiento ofrece el equipo? Ejemplo: automático, forzado.	Si el reemplazo se realiza por una falla y al colocar una tarjeta del mismo tipo la reconfiguración es automática. Si el reemplazo se realiza para instalar una tarjeta diferente, el sistema reconoce automáticamente la nueva tarjeta pero es necesario reconfirmar por software el tipo de tarjeta que se esta colocando.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
16.- En cuanto a la topología de red:			
a) ¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?	Los módulos y tarjetas pueden operar sobre dos XDM colocados en una topología punto a punto. Mediante una segunda conexión puede establecerse un anillo plano.	Si cumple. El XDM ofrece protección 1+1 a nivel del canal óptico a través de tarjetas de dobles transponder y también con la tarjeta OMSP se tiene una protección 1+1 en la sección multiplexada óptica.	10
b) ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2F, BLSR/4F?	A nivel óptico el XDM tiene dos tipos de esquemas de protección, OMSP (line protección y OCH (optical channel protección). La OMSP (Optical Multiplexer section Protección) es una protección a nivel de la fibra basada en una conexión a cuatro fibras. Este esquema es similar a la protección SDH MSP 1+1. El XDM provee protección de canales ópticos y es similar a la protección de rutas. Utilizando dos transponder y una unidad OCH se realiza la conmutación en los transponder.	Si cumple. El XDM además de implementar la protección en la capa SDH/SONET mediante mecanismos UPSR, BLSR/2F o BLSR/4F usando la capa DWDM como capa de transporte, protege la capa óptica con mecanismos como OBPSR, OBLSR/4F y el OSNCP.	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
17.-¿El equipo DWDM además de ser utilizado como terminal puede ser configurado como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) e ILA (In Line Amplifier)? ¿En el caso de poder ser configurado como un OADM cuantos canales se pueden extraer/insertar? ¿Para la configuración ILA señalar que técnica es usada para la supervisión remota de este sistema y que recomendación de la UIT se sigue para tal fin?	El equipo puede ser utilizado como OADM y como ILA. El equipo puede utilizar módulos OADM para realizar add/drop de 1, 4, 8 y 16 canales c/u o para un grupo de cuatro canales cada uno. La supervisión de un ILA cumple con la recomendación GR-2918-CORE (DWDM Network Transport Systems) que define el OSC (Optical Supervisory Channel). El OSC puede ser llevado sobre las fibras en paralelo con la señal de tráfico, y es utilizado para la gestión de redes puramente ópticas, incluyendo redes con amplificadores de línea. El OSC utiliza un canal fuera de la banda (1510 nm) para la supervisión de los amplificadores de línea.	Si cumple	10
18.-¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?	El equipo de dispone de una protección por hardware 1:N para tarjetas ópticas.	Si cumple. Ofrece un protección1+1 a nivel del canal óptico con la ayuda de las tarjetas de doble transponder.	5
19.- En cuanto a la capacidad de integración del equipo DWDM: ¿El equipo puede ser interconectado con los equipos existentes en la red SDH de TELCEL BELLSOUTH de los proveedores ECI y Alcatel?	Los XDM pueden ser Interconectados con equipos de cualquier fabricante que cumpla con los estándares SDH. La interconexión de estos equipos puede realizarse directamente sobre interfaces STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64, o realizarse directamente con módulos OADM, en el caso de que las señales estén coloreadas, o a un transponder para realizar la adecuación de la señal.	Si cumple	5
20.-¿Su equipo dispone de canales de servicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11?	El XDM posee dos canales de datos con interfaces V.11, operando una velocidad de hasta 768 Kbps (configurable por software). Estos canales son transferidos a los bytes auxiliares del DCC en la trama SDH para proveer una ruta de transmisión para el usuario. El XDM brinda además dos canales de 64 Kbps (G.703) utilizados para tener acceso al Order Wire.	Si cumple	5
21.-En cuanto al sistema de gestión a nivel general:			
a) ¿El equipo dispone de software de gestión?	El sistema de gestión utilizado para el XDM es el ENM V 8.5 (o mayor) actualmente utilizado por Telcel Bellsouth para la supervisión de su red de transporte SDH que incluye los productos de la línea Syncom y XDM.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿El sistema de gestión y su arquitectura cumple con la recomendación UIT-T G.784?	La arquitectura del sistema de gestión cumple con la recomendación UIT-T G.784	Si cumple	10
c) ¿El equipo puede ser gestionado por el software disponible en TELCEL BELLSOUTH?	El sistema de gestión utilizado actualmente por Telcel Bellsouth es el mismo sistema de gestión empleado para la supervisión de los equipos XDM con plataforma SDH o DWDM.	Si cumple	5
d) ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?	La gestión de la red en la Web no es posible.	No cumple	0
e) ¿El sistema puede generar mapas de visualización de los eventos?	El sistema de gestión muestra en su ventana principal la topología completa de la red de equipos. En la misma se puede visualizar cada evento ocurrido en cualquier nodo de la red, empleando para ello colores sobre cada elemento de acuerdo al evento mostrado.	Si cumple	5
f) ¿La plataforma de gestión de su sistema DWDM es compatible TMN y configurado por capas y áreas funcionales según la recomendación UIT-T M3010?	El concepto de gestión de las redes Lightscape ECI esta diseñado con arquitectura en capas de acuerdo a la recomendación M.3010. La capa más baja, la capa de elemento de red, esta conformada por el software de elemento de red, la segunda capa la capa de gestión del elemento, controla algunas funciones sobre los elementos de red individualmente, mientras que la tercera capa, la capa de gestión de red, controla todas las funciones principales de gestión de red. En este esquema, el eNM sistema de gestión de red más poderoso de Lightscape, funciona en el nivel capa de gestión de red, mientras que en eNM-XDM funciona en el nivel intermedio y es conocido como sistema de gestión de elemento o EMS.	Si cumple	10
g) ¿Cuál es la escalabilidad del sistema de gestión? ¿Cuántos elementos de red pueden ser manejados simultáneamente con varias aplicaciones y arreglos de software licenciados?	Con los arreglos de licencia adecuados y con el sistema de gestión ECI actualmente empleado por Telcel Bellsouth, la capacidad máxima de elementos es de 180 incluyendo equipos XDM y Syncom. Con arreglo de hardware pueden gestionarse hasta 100 XDM y hasta 300 elementos Syncom.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>h) ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?</p>	<p>ENM-XDM soporta dos interfaces basadas en CORBA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • eIMI - Interfaz de gestión Integrada (para el eNM). • eNI - interfaz northbound (genérica). <p>Adicionalmente, es posible exportar alarmas actuales vía FTP, accedendo a la base de datos vía SQL.</p> <p>La interfaz de gestión integrada es una interfaz de programación de aplicación basada en tecnología CORBA que habilita al eNM para realizar la gestión de equipos. Este soporta topología integrada, log de alarmas y provee indicación de status de alarma en el nivel superior. Elementos gestionados externamente (EME) y su topología de conexiones son representados en el mapa principal del eNM mediante la interfaz eIMI. Haciendo doble clic sobre el icono de EME abre el Shelf desde la aplicación "Slave-Manager". Acciones sobre el Shelf son posibles desde esta ventana.</p> <p>La interfaz eNI esta basada en tecnología CORBA y cumple con el modelo de información de multi-tecnología de gestión de redes MTNM. La interfaz cumple cubre alarmas, configuración y gestión de desempeño basado en TMF (Telemagment Forum).</p>	<p>No cumple totalmente, ya que el sistema de gestión no contempla los protocolos SNMP y TL-1.</p>	<p>5</p>
<p>i) ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?</p>	<p>La plataforma de gestión no puede manejar alarmas externas.</p>	<p>No cumple</p>	<p>0</p>
<p>j) ¿El sistema de gestión posee interfaces u opciones que permitan integrarse con sistemas como SQL de acceso directo a la base de datos?</p>	<p>El sistema de gestión ECI posee interfaces que permiten el acceso con la base de datos del eNM. Vía FTP se puede acceder a la base de datos empleando SQL.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>
<p>k) ¿A través de la gestión de red o gestión local mediante un Craft Terminal se puede realizar telemedidas para tener control de los niveles presentes en el equipo? Como por ejemplo medir la corriente promedio del láser.</p>	<p>Utilizando la gestión de red se puede determinar el nivel de potencia recibido y transmitido por cada una de las interfaces ópticas. También se puede medir el nivel de corriente del láser.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
l) ¿El sistema de gestión de red o local permite realizar carga remota de software?	El sistema de gestión ENM permite realizar actualizaciones de software, carga y descarga de la configuración de los equipos y tarjetas de manera remota.	Si cumple	10
m) ¿Su sistema de gestión puede interactuar con un sistema de gestión de orden superior y dispone de las interfaces abiertas para ello?	Para la integración hacia un nivel superior en el sistema TMN, el eNM incluye una interfaz northbound basada en Corba.	Si cumple	10
n) ¿ El equipo dispone de alguna interfaz F que permita el manejo del enlace través de un Craft Terminal o CID (Craft Interface Devive)? En el caso de poseer dicha interfaz: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? • ¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? • ¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? 	El XDM posee un puerto para la conexión del Craft Terminal para la gestión local del elemento de red. Utilizando esta conexión se puede monitorear todas las alarmas presentes en dicho equipo así como el equipamiento completo del bastidor. También se puede realizar la configuración de interfaces PDH, SDH y DWDM sobre el bastidor. Para lograr el acceso desde un elemento a otros de la red el XDM posee un puerto Ethernet que permite la conexión vía red a otros elementos utilizando el Craft Terminal.	Si cumple	10
22.- El sistema de gestión al nivel de la configuración:			
a) ¿Permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local (Craft Terminal), como desde el sistema de gestión de red?	El sistema de gestión local eCraft se utiliza para realizar cualquier tipo de configuración sobre los XDM, a excepción de la modificación de las rutas que manejan el tráfico. Desde el sistema de gestión de red ENM puede realizarse cualquier tipo de configuración que se desee sobre cualquier elemento de red. El sistema de gestión también permite guardar la configuración completa de cualquier elemento de red.	Si cumple	10
b) ¿Permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda?	Desde el sistema de gestión pueden habilitarse todos los servicios requeridos. Es posible la activación o desactivación de cualquier flujo de señal desde STM-1 hasta STM-64 por cada canal o longitud de onda específica y en consecuencia cualquier señal de bajo orden desde 2 Mbps a 34/45 Mbps.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio?	El sistema de gestión permite realizar cualquier actualización de software sobre los equipos y sobre el sistema de gestión con el equipo en servicio y sin afectar el tráfico en la red. El sistema también permite realizar cualquier tipo de expansión al nivel del hardware sin afectar el funcionamiento del equipo.	Si cumple	10
d) ¿ El sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red (nodos, enlaces físicos y lógicos)?	El sistema de gestión permite obtener un inventario del número y tipo de elementos presentes en la red, así como un inventario de todas las tarjetas en cada uno de los equipos. El sistema de gestión también permite obtener un listado de las conexiones físicas y lógicas presentes en la red y cada uno de elementos que la componen.	Si cumple	5
23.-El sistema de gestión al nivel del desempeño:			
a) ¿Cómo obtiene y evalúa las condiciones de los recursos de la red?	Se emplea la topología de red mostrada en la pantalla inicial. En ella se puede consultar la capacidad ocupada y disponible de cada enlace así como la capacidad física disponible de tributarios por elemento. De igual manera mediante la creación de rutas muestra la disponibilidad de recursos por enlace.	Si cumple	5
b) ¿Genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según lo especificado en la recomendación UIT-T G.783? Estas estadísticas de desempeño deben incluir como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821. • Reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas. 	El sistema genera estadísticas de desempeño fraccionados bien sea cada 24 horas o fraccionados cada 15 minutos para todos los puertos e interfaces, cumpliendo con la recomendación UIT-T G.783, G.826 y G.821. De igual manera se pueden consultar la disponibilidad a cada nivel de conexión.	Si cumple	10
c) ¿Cómo realiza el desempeño de la conmutación a protección?	La conmutación a protección se realiza a nivel de equipo. Cada equipo evalúa la condición de cada interfaz y por consiguiente tomará la decisión de conmutar hacia sus respectivos sistemas de protección. Desde el sistema de gestión es posible realizar conmutaciones a protección de cada interfaz a voluntad. Las conmutaciones forzadas o conmutaciones manuales son posibles para el usuario dentro del grupo autorizado.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:			
d) ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?	Cumple con el monitoreo y status de las interfaces.	No cumple totalmente, ya que el ENM no monitorea alarmas externas.	5
e) ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?	El sistema de gestión genera notificaciones de alarmas a todo nivel.	No cumple totalmente, ya que el sistema de gestión no permite realizar la función de modificación de los umbrales de los eventos para la generación de las alarmas.	1
f) ¿Puede realizar rutinas de pruebas y diagnostico que permitan aislar fallas rápidamente?	Mediante el reporte de alarmas actual el sistema permite obtener un diagnostico acertado del problema que se presente, de manera que es posible aislar la falla mediante rutinas de prueba y mantenimiento, con lo cual se pueden tomar las acciones correctivas.	Si cumple	10
g) ¿Permite hacer corrección de fallas?	El sistema evalúa el estado de cada interfaz y por consiguiente de cada enlace, y permite eventualmente poder tomar acciones que solventen la falla presentada de manera inmediata, causando el mínimo impacto posible sobre la red. Es posible detectar fallas que no causan afectación de trafico de manera inmediata y por consiguiente poder tomar las acciones necesarias desde el sistema de gestión para evitar la eventual afectación de servicios.	Si cumple	10
h) ¿Puede generar históricos de fallas?	El sistema guarda una lista de eventos o log de alarmas o histórico de fallas el cual puede ser exportado para ser analizado posteriormente. El mismo registra el tiempo exacto y tipo de alarma ocurrida. Este log se genera cada 24 horas o por cada 5000 eventos presentes pudiendo existir de esta manera mas de un archivo diario.	Si cumple	10
i) ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?	No soporta esta función.	No cumple	0

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:			
a) ¿Posee la opción de gateway de seguridad para filtrar el tráfico de entrada y salida de servicios?	El sistema de gestión ECI esta diseñado para operar como una red aislada (Red de transmisión – Sistema de Gestión) en la cual no interviene ningún elemento fuera del sistema. La seguridad de la misma esta en función de la manera en que sea intervenida la relación Sistema de Gestión – Red de Transmisión.	Si cumple	10
b) Puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Prevención. • Detección. • Autenticación. • Autorización. • Contención y recuperación. 	El sistema de gestión permite la creación de grupos de trabajo, en los cuales se autorizan a cierto usuarios para la ejecución de acciones. Esta categorización de usuarios contempla acciones de: Administrador (máximo nivel de acceso), mantenimiento, provisión y mínimo. Cada usuario dentro de estas categorías podrá entonces realizar acciones de acuerdo a su experiencia y conocimiento.	Si cumple	10
c) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?	No permite el acceso vía Web.	No cumple	0
d) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los siguientes cuatro niveles de acceso a los elementos de la red? <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1: Acceso de sólo lectura para ver las alarmas e información de desempeño. • Nivel 2: Adicional al nivel 1, permite el uso de herramientas de diagnostico y pruebas. • Nivel 3: Acceso de lectura y escritura, más el control total de los equipos propuestos (aprovisionamiento, información de monitoreo y control, etc.). • Nivel 4: Adicional al nivel 3, que cuente con todas las funciones de administración. 	El ENM en cuanto a la autorización a los diferentes usuarios para ejecutar acciones sobre la red brinda la posibilidad de otorgar los privilegios que el administrador considere necesarios a cada uno de estos usuarios. Dentro de las capacidades que pueden otorgarse a cada uno de los usuarios del sistema el ENM tiene ocho funciones básicas que son: <ul style="list-style-type: none"> • View (Solo lectura). • Alarm Log (Registro de alarmas). • Assign Severity (Asignación de severidades). • Performance. • NE Configuration (Configuración de elementos). • Configuration (Configuración de la red). • Trails (Rutas). • Maintenance (Opciones de mantenimiento). El administrador de la red, el cual dispone de todos los privilegios para ejecutar todos los comandos que brinda el ENM, puede crear diferentes usuarios y asignarle a cada uno de ellos la combinación de privilegios que este requiera.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
e) ¿Genera registro de los históricos de acceso a los elementos de la red?	El sistema de gestión de red genera históricos de todas las actividades realizadas sobre la red, tales como, acceso a un elemento de la red, asignación de tarjetas, creación o edición de rutas y acciones de mantenimiento entre otras.	Si cumple	10
26.- En cuanto a los requerimientos mecánicos, ambientales y de energía:			
a) ¿El cableado de fibra en el equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas o rejillas?	Sí esta protegido en su totalidad rejillas	Si cumple	5
b) ¿Los equipos DWDM pueden ser instalados en los bastidores de los equipos SDH/PDH que posee TELCEL BELLSOUTH instalados en su red de transporte?	Los XDM se instalan en bastidores ETSI tal como se encuentran instalados actualmente en la red de TELCEL BELLSOUTH.	Si cumple. Los sub-bastidores pueden ser instalados en bastidores que posee Telcel Bellsouth pero es recomendable que se instalen en sus propios bastidores.	5
c) ¿Qué condiciones ambientales soporta el equipo DWDM en cuanto a la temperatura y la humedad?	Especificación aplicable ETS 300 019-1-3 Class 3.1E Rango de Temperatura: -5 °C a +45 °C Humedad relativa: 5% a 95%	Si cumple	5
d) ¿Cuál es el consumo de energía del equipo DWDM y como es su sistema de alimentación?	El consumo de energía del XDM dependerá del tipo de shelf utilizado y del equipamiento del mismo. A continuación se tienen los consumos típicos y máximos de los diferentes tipos de XDM tomando en cuenta que el equipamiento no solo incluye módulos para DWDM sino también interfaces para el manejo de señales STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64 así como interfaces PDH. <ul style="list-style-type: none"> • XDM 1000: Típico 650 W, Máximo 1500 W. • XDM 500: Típico 650 W, Máximo 950 W. • XDM 2000: Típico 1200 W, Máximo 1700 W. 	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	XDM (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
27.- ¿Dispone de personal capacitado en el país para prestar soporte técnico, de manera de dar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier problema que se presente? ¿Especifique la estructura del departamento de soporte técnico?	Nera cuenta con personal capacitado en el país para brindar soporte técnico a los clientes y cuenta además con un servicio de soporte técnico de ECI como respaldo al personal técnico de NERA.	Si cumple	5
28.-¿El equipo DWDM cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T?	Los equipos DWDM cumplen con los diversos estándares internacionales.	Si cumple	5
Subtotal de las preguntas críticas.			328
Subtotal de las preguntas no críticas.			134
Total de la matriz de cumplimiento.			462

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>1.- El equipo DWDM posee un conjunto de interfaces que le permite servir de plataforma de transporte de alta capacidad, confiable y transparente. ¿Su sistema DWDM dispone de las siguientes interfaces?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptadores de longitudes de onda (WLA's) o Transponders. • Interfaz coloreada. • Tarjeta Multi-rate. 	<p>Para los equipos DWDM hablamos de interfaces ópticas o interfaces que convierten la señal óptica no regulada a una señal óptica que cumpla con los parámetros de la rejilla según la ITU-T G.692.</p> <p>Los equipos pueden portar diferentes tipos de tráfico de datos. Los Transponder Multi-Rata ofrecen capacidad de transporte para los protocolos estándar SDH/SONET y Gigabit Ethernet, también soportan interfaces coloreadas.</p>	Si cumple	10
<p>2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta Adaptadora de longitud de onda (WLA):</p>			
<p>a) ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?</p>	<p>EI PLT 40/80 está compuesto por el sub-rack core, el cual aloja todas las tarjetas básicas del equipo. El sub-rack de extensión se alojan los transponder los cuales pueden ser equipados con un máximo de 16 transponder multi-rate 2.5 Gb/s sin protección o 8 transponder multit-rate 10 Gb/s.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima exigida es de 16 canales, pero no tienen un concentrador de 4 señales STM-16 (G.957) a una STM-64 (G.692).	8
<p>b) ¿Cuántas tarjetas Adaptadoras de longitudes de onda (WLA's) soporta un sub-rack?</p>	<p>Soporta 16 transponder multi-rate a 2.5 Gbps o 8 transponder multi-rate a 10 Gbps. Se requiere un rack de extensión.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima por sub-rack es de 8 transponder.	5
<p>c) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?</p>	<p>Los equipos DWDM cumplen con la recomendación ITU-T G.957, Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital sincronía y la recomendación G 707.</p>	Si cumple	10
<p>d) ¿Indique si los WLA's tienen control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.</p>	<p>Los equipos DWDM poseen los módulos DCF (Dispersion Compensating Fibre Modules) los cuales se encargan de realizar el control de dispersión cromática.</p>	No se indico la tolerancia a la dispersión del transponder, sino de los módulos compensadores de dispersión.	2

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:			
a) ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, FibreChannel, Fiber Coupling, Digital Vídeo, IP, Frame Relay y ATM?	La multi-rate ofrece la capacidad de transporte a los protocolos SDH/SONET/ATM/IP a velocidades STM-1/OC-3, STM-4 /OC-12, STM-16/OC-48 y STM-64/OC-192. Con Gigabit Ethernet la capacidad de 1.25 Gbps (1000 BASE LX). En el futuro serán añadidas: Fibre Channel, PDH, Fast Ethernet, ESCON y FDDI.	No cumple totalmente	5
b) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	Nuestros equipos cumplen completamente con estas recomendaciones: ITU-T G.957, Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona. ITU-T G.707, El primer nivel de velocidad síncrona STM-1 corresponde a 155.520 Kb/s y los siguientes niveles superiores se definen bajo múltiplos enteros de dicha velocidad, es decir, las velocidades correspondientes a los niveles STM-4 y STM-16 son 622.080 y 2.488.320 Kb/s respectivamente.	Si cumple	10
c) ¿Señalar las recomendaciones UIT que cumplen con las interfaces?	G.652, G.653, G.664, G.691, G.692, G.707, G.709, G.798, G.827, G.872, G.957 y G.958.	Si cumple	5
d) ¿La tarjeta Multi-rate puede ser instalada en el mismo sub-bastidor DWDM o requiere un sub-bastidor adicional?	La estructura de los equipos de DWDM está dividida en un sub-bastidor básico y en un sub-bastidor de extensión, en este último se alojarán este tipo de tarjetas.	Si cumple	5
4.- En caso de que el equipo disponga de tarjetas coloreadas:			
a) ¿La señal esta coloreada o canalizada según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación UIT-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF?	Las señales están canalizadas según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación ITU-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora/ Demultiplexora del equipo DWDM:			
a) ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?	El PLx tiene la capacidad de 80 canales y puede expandirse a 160 canales a 2.5 Gbps y 10 Gbps. El espaciado entre canales es de 50 GHz de acuerdo a la recomendación UIT-T G.692	Si cumple	10
b) ¿Qué velocidades son soportadas por cada canal?	Los canales pueden soportar STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, 1.25 Gbps (1000BASE-LX).	Si cumple, ya que la máxima velocidad de transmisión exigida es un STM-64.	5
c) ¿En que banda (s) opera el equipo?	Opera en la banda C y L..	Si cumple, ya que la banda requerida es la C.	5
d) ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?	Si puede operar en la banda C y L.	Si cumple	5
6.- ¿Qué tipo de tecnología o componentes pasivos es empleado por el equipo DWDM para la etapa de multiplexación/Demultiplexación? Ejemplo: Prism Refraction, Waveguide Grating Diffraction, Arrayed Waveguide Gratings, etc.	La modularidad es alcanzada con el uso de cinco mux/demux de filtros 8:1 para cubrir 40 canales iniciales. . El filtro Master fija las 8 longitudes de ondas centrales de los 40 canales, con lo cual canales adicionales pueden ser agregados a las señales de línea gracias a los otros filtros definidos por las bandas rojo 1, azul 1, rojo 2 y azul 2.	Si cumple. A pesar de que utiliza filtros cuyas pérdidas de inserción son altas para mux/demux de más de 16 canales, el hecho de utilizar un esquema de filtros en sub-bandas de 8 canales permite reducir las pérdidas de inserción y la distorsión. También ofrece alta modularidad.	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos, en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF? ¿Indique las relaciones existentes entre las distancias del enlace y los números máximos de longitudes de onda?	El PLx puede alcanzar distancias de hasta 150 km sin regeneración eléctrica y amplificación óptica. G655: 37dB x 32 canales y 36dB x 40 canales. G652: 37dB x 32 canales y 36dB x 40 canales.	Si cumple, ya que la exigencia mínima es un span budget de 25 dB para 32 canales @ 2.5 Gbps	10
8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?	El criterio es el siguiente: 37 dB x 32 canales. 36 dB x 40 canales.	No cumple totalmente, ya que no especifico si disponen de alguna herramienta para la simulación del sistema a implementar.	1
9.- ¿Cuál es el máximo alcance y numero de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores Intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?	Este sistema puede alcanzar distancias de hasta 100/1500 km sin regeneración eléctrica. • G.652: 8 spans x 25.5 dB con 32 canales. 8 spans x 24 dB con 40 canales. • G.655: 8 spans x 23 dB con 32 canales. 8 spans x 21 dB con 40 canales. • G.655 E leaf: 48 spans x 14 dB con 40 canales. 10 spans x 26 dB con 40 canales. • G.655 True wave: 57 spans x 14 dB con 40 canales. 16 spans x 26 dB con 40 canales.	Si cumple	10
10.-¿El Amplificador óptico utilizado por equipo DWDM en el transmisor y/o receptor cumple con la recomendación UIT-T G.662 (secciones 10 y 11) y G.663?	Los equipos DWDM cumplen con la recomendación UIT-T G.662 “Características genéricas de los dispositivos y subsistemas amplificadores de fibra óptica” y la recomendación UIT-T G.663 “Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores óptico”.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
11.- ¿Cuales son los valores nominales que posee el equipo DWDM en cuanto a la potencia de salida del amplificador (Booster) y la sensibilidad del receptor?	No respondió adecuadamente	No cumple	0
12.- ¿El equipo DWDM es capaz de generar alarmas como ISOL (Input Signal Out Level) y LOS (Loss of Signal) al deteriorarse la señal a la entrada de los adaptadores de longitud de onda (WLA's) en el lado receptor? ¿Qué tipos de señales se generan?	<p>Entre las alarmas se tiene las siguientes:</p> <p>Transponder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Loss of signal. • Wavelength Mismatch. • Loss of Frame. • High/Low optical power received. • High/Low wavelength. <p>Pre - Amp:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Loss of signal. • Low optical power received. • Forward defect indication. • Backward defect indication. <p>Además de estas alarmas externas, las unidades reportan alarmas internas como fallas en HW o fallas entre unidades.</p>	Si cumple	10
13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al numero de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del numero de canales?	<p>La potencia es constante, y la idea es que si agregas o retiras canales, esto no afecte el tráfico manteniendo la potencia constante.</p> <p>Se emplea la técnica de control de potencia de salida con la ayuda de un sistema monitor y un VOA (Atenuador Optico Variable).</p>	Este método es aceptable, ya que define la potencia a la salida del EDFA en función de la cantidad de canales, y de esta manera se mantiene constante la potencia del canal a la salida del amplificador indiferentemente de la cantidad de canales que exista a la entrada del amplificador.	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO		ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS		RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
14.-	¿El equipo DWDM esta en la capacidad de ejecutar el procedimiento ALS (Automatic Laser Shut Down), tal como lo establece la recomendación UIT-T G.958 (Sistemas de Líneas Digitales basadas en la jerarquía digital síncrona para su utilización en cables de fibra óptica) ?	Los equipos DWDM están en la capacidad de ejecutar el procedimiento de ALS (Automatic Laser Shut Down), este puede estar habilitado o deshabilitado a través del NMS (Network Managment System).	Si cumple	5
15.-	En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:			
a)	¿Cuántas configuraciones permite implementar? Ejemplo: Estándar, Expandida, Single-Channel, etc.	El equipo ofrece solo flexibilidad a nivel de los amplificadores ópticos (PLA), siendo estos configurados como Etapa Simple, Etapa Doble y Etapa Combinada Simple/Doble. Esta flexibilidad le permite al operador optimizar el desempeño y minimizar los costos de implementación. Además, el PLA puede ser migrado a un PLD (OADM) si se requiere.	El equipo dispone de flexibilidad en cuanto a los mux/demux ya que permite un crecimiento desde los 8 canales hasta 40 en la banda C y 40 en la banda L.	5
b)	En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar numero de piezas en repuestos?	No aplica para nuestros equipos.	No cumple	0
c)	Al reemplazar las tarjetas en el equipo. ¿Qué tipo restablecimiento ofrece el equipo? Ejemplo: automático, forzado.	El equipo permite restablecimiento automático y forzado.	Si cumple	5
16.-	En cuanto a la topología de red:			
a)	¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?	Los equipos DWDM permiten ser configurados en topología punto a punto con protección 1+1 OSNCP (Optical Sub Network Connection Protection).	No cumple totalmente, ya que la protección es a nivel del canal óptico, más no de la sección óptica multiplexada.	7

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>b) ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2F, BLSR/4F?</p>	<p>Los equipos DWDM permiten topologías en anillo con protección de Sub Redes Ópticas (Optical Sub Network Connection Protection, OSNCP) Esta es implementada mediante el aprovisionamiento de enlaces operativos y trayectorias ópticas de protección a través de la red y usando unidades de protección de transponder, para combinarlas en un circuito protegido OSNCP. El enlace operativo y la trayectoria de protección son configurados sobre lados opuestos del anillo y se usa la misma longitud de onda para cada una de las trayectorias. La trayectoria más corta es designada como enlace operativo.</p> <p>En la capa óptica OSNCP es configurado en la misma forma como en la protección punto a punto en la capa de cliente. La diferencia estriba en que una unidad de protección de transponder es requerida como parte de la configuración del nodo y a que hay solamente un par de fibras conectando el nodo al equipo del cliente.</p> <p>OSNCP combinado con protección de Transponder en aplicaciones de anillo. El tráfico combinado y la unidad de protección es provista duplicando los transponder. El tráfico es protegido por OSNCP, el cual puede ser unidireccional (simplemente terminado) o bidireccional (doblemente terminado) y puede ser revertivo o no revertivo. La protección del hardware es 1 + 1 en operación redundante.</p> <p>La Protección Och-SPRING es posible configurarla en algunos de los equipos DWDM en futuros releases. La notificación de falla es pasada alrededor del anillo vía un byte dedicado APS Automatic Protection Switching dentro de la sección Overhead (SOH) en el OSC. Esto permite que cada NE determine si o no un canal óptico que sale o se incorpora al anillo en este NE, requiere conmutación hacia/desde la dirección opuesta en el anillo.</p>	<p>No cumple totalmente. Solo dispone en la protección de la capa óptica el mecanismo OSNCP.</p>	<p>5</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>17.- ¿El equipo DWDM además de ser utilizado como terminal puede ser configurado como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) e ILA (In Line Amplifier)? ¿En el caso de poder ser configurado como un OADM cuantos canales se pueden extraer/insertar? ¿Para la configuración ILA señalar que técnica es usada para la supervisión remota de este sistema y que recomendación de la UIT se sigue para tal fin?</p>	<p>Los equipos pueden configurarse como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) las cantidades de canales dependen de l tipo de equipo así: El PLD permite el acceso a cualquier longitud de onda desde la carga útil total en la sección óptica, usando los filtros apropiados. Un máximo de 8 + 8 longitudes de onda pueden ser accesadas desde la carga útil de 80 canales. El equipo PMA es un avanzado OADM (Optical Add Drop Multiplexer) que se puede reconfigurar remotamente, todos los canales ópticos pueden ser insertados y extraídos hasta su máxima capacidad, es flexible y puede ser usado en configuraciones de anillo o en redes lineales. El PMA32 soporta hasta 32 canales o lambdas en un par de fibras, con la capacidad de transportar señales de 10 Gb/s por canal a través de la capa óptica. El UPLD ofrece una flexibilidad total configurado como OADM intermedio (UPLD160), mediante la cual cualquier longitud de onda puede ser sacada o insertada mediante manejo remoto y sin ninguna intervención en sitio. Los equipos DWDM también pueden ser configurados como ILA, Entre estos están los equipos PLA del grupo de los equipos PLx y el UPLA del grupo de los UPLx.</p>	Si cumple	10
<p>18.- ¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?</p>	<p>Nuestros equipos soportan este tipo de protección para los transponder. Cuando se requiere protección se usan un par de transponder. Un transponder provee el enlace operativo a través de la red metropolitana y el otro provee la trayectoria de protección. En redes metropolitanos punto a punto los enlaces operativos y las trayectorias de protección deben ser conectadas a fibras corridas por diferentes vías. En anillos, los enlaces operativos y las trayectorias de protección deben tomar diferentes rutas alrededor del anillo (este y oeste).En el lado del cliente un divisor pasivo distribuye la data del cliente a las entradas de ambos transponder y un combinador pasivo conecta la salida de ambos transponder a una simple salida del lado del cliente. La conmutación de la protección ocurre debido a defectos detectados en las señales coloreadas entrantes (pérdida de señal, excesiva tasa de errores de bits, etc.), la señalización cuando se selecciona operación bidireccional, comandos de gestión o fallas de hardware en los transponder.</p>	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
19.- En cuanto a la capacidad de integración del equipo DWDM: ¿El equipo puede ser interconectado con los equipos existentes en la red SDH de TELCEL BELLSOUTH de los proveedores ECI y Alcatel?	Los equipos DWDM pueden ser conectados a cualquier equipo que soporte las recomendaciones de la ITU-T.	Si cumple	5
20.- ¿Su equipo dispone de canales de servicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11?	<p>Los equipos DWDM que ofrecemos tienen la posibilidad de usar el canal de servicio, así mismo, canales de datos por medio de una tarjeta auxiliar donde se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EOW usando SOH bytes con interfaces análogas a 2 hilos y 4 hilos. El canal EOW usa los bytes E1/E2. También se puede usar para proveer llamadas selectivas y del tipo ómnibus. • Canal de datos (64 kbit/s, N x 64 kbit/s) transportado por interfaces standard, cumpliendo con la norma G.703. 	Si cumple	5
21.- En cuanto al sistema de gestión a nivel general:			
a) ¿El equipo dispone de software de gestión?	Si, Los equipos DWDM vienen acompañados además de la función LCT (Local Craft Terminal) para mantenimiento local, de aplicaciones para gestión de elemento NEM-EM y gestión de red NEM NM.	Si cumple	10
b) ¿El sistema de gestión y su arquitectura cumple con la recomendación UIT-T G.784?	Si, la implementación de la solución de gestión esta en la línea con la recomendación de gestión SDH ITU-T G.784 (1999).	Si cumple	10
c) ¿El equipo puede ser gestionado por el software disponible en TELCEL BELLSOUTH?	El software de gestión NEM proporciona múltiples interfaces abiertas para su interconexión con sistemas abiertos en capas de gestión superiores. Para ello se tienen interfaces como TL1, SNMP o SQL.	Si cumple	5
d) ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?	Si, La gestión local puede ser accesada desde un sitio central usando el protocolo http, gracias a la existencia de un WEB Server Embebido en el equipo. Adicionalmente las sesiones gráficas de UNIX pueden ser presentadas a las estaciones de trabajo tipo PC a través de emulaciones orientadas a WEB.	Si cumple	5
e) ¿El sistema puede generar mapas de visualización de los eventos?	Si, El sistema ofrece representación topológica y gráfica de la red, conectada lógicamente con el registro de eventos, gestión de fallas y de configuración.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
f) ¿La plataforma de gestión de su sistema DWDM es compatible TMN y configurado por capas y áreas funcionales según la recomendación UIT-T M3010?	Si, la solución se ha diseñado siguiendo los lineamientos de la recomendación ITU-T M3010. Se ofrecen los niveles de gestión de elemento y gestión de subred, como un subconjunto de la RGT.	Si cumple	10
g) ¿Cuál es la escalabilidad del sistema de gestión? ¿Cuántos elementos de red pueden ser manejados simultáneamente con varias aplicaciones y arreglos de software licenciados?	El sistema es escalable en número y tipo de elementos de red e interfaces especiales para comunicación con otros sistemas OSS/BSS, cada elemento de red representa una carga en procesamiento de acuerdo a perfiles típicos de alarmas e información de desempeño promedio enviadas por él. La solución ha establecido una unidad estándar de carga NEE y cada elemento representa una carga en número de NEEs. Cada configuración de hardware en el servidor de gestión soporta un número máximo de NEEs. Entonces el máximo número de elementos de red depende de la combinación de tipos de elemento de red.	Si cumple	5
h) ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?	El sistema posee la interfaz Q3 de acuerdo a las recomendaciones Q.811, Q.812 y Q.822 de la ITU-T. Además posee interfaces para integración con el nivel de gestión de Red, como SNMP, TL1, Texto, SQL.	Si cumple	10
i) ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?	Las alarmas externas cableadas a los equipos a gestionar son manejadas por el sistema de gestión. La capacidad de entradas depende de la capacidad de cada elemento de red.	Si cumple	5
j) ¿El sistema de gestión posee interfaces u opciones que permitan integrarse con sistemas como SQL de acceso directo a la base de datos?	Si, existe una interfaz especial que permite el acceso a la información almacenada directamente en la base de datos.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
k) ¿A través de la gestión de red o gestión local mediante un Craft Terminal se puede realizar telemidas para tener control de los niveles presentes en el equipo? Como por ejemplo medir la corriente promedio del láser.	Si, ya sea localmente se pueden programar telemidaciones que son reportadas a contadores o variables para su análisis posterior.	Si cumple	5
l) ¿El sistema de gestión de red o local permite realizar carga remota de software?	Si, el sistema permite hacer carga remota de software almacenado en el sistema de gestión.	Si cumple	10
m) ¿Su sistema de gestión puede interactuar con un sistema de gestión de orden superior y dispone de las interfaces abiertas para ello?	Si, como se explicó en literales anteriores el sistema posee interfaces SNMP, texto, SQL y TL1 entre otras.	Si cumple	10
o) ¿ El equipo dispone de alguna interfaz F que permita el manejo del enlace través de un Craft Terminal o CID (Craft Interface Devive)? En el caso de poseer dicha interfaz: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? • ¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? • ¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? 	Si el sistema provee una interfaz F para la gestión local. Por medio de la función LCT login, se puede tener acceso a todos los elementos de la red. También a la unidad de control local son reportados los eventos de los diferentes componentes del nodo.	Si cumple	10
22.- El sistema de gestión al nivel de la configuración:			
a) ¿Permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local (Craft Terminal), como desde el sistema de gestión de red?	Si, el sistema permite la reconfiguración y recuperación tanto de forma centralizada como local.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda?	Si, el sistema proporciona la posibilidad de provisión de circuito en forma individual por elemento y extremo a extremo en ambiente de red. Al hacer la provisión se asigna a los circuitos un número de canales, pudiendo de esta forma asignar ancho de banda de acuerdo a la mínima granularidad de dichos canales.	Si cumple	10
c) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio?	Si, desde el punto de vista de hardware el sistema de gestión es capaz de hacer extensiones o reducciones en la configuración. Para las actualizaciones de software el sistema es capaz de bajar el programa nuevo y reinicializar todo programa y datos o solo los datos minimizando el impacto en el servicio.	Si cumple	10
d) ¿ El sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red (nodos, enlaces físicos y lógicos)?	Si, el sistema tiene capacidad para realizar inventario local o remoto y centralizarlo en una base de datos. La información de inventario incluida contiene entre otros datos: sitio, posición, piso, rack, sub-rack, slot, localización lógica y funcional del recurso, tipo de elemento de red, tipo de unidad, identificación del recurso, entre otros.	Si cumple	5
23.- El sistema de gestión al nivel del desempeño:			
a) ¿Cómo obtiene y evalúa las condiciones de los recursos de la red?	Requiriendo los registros de medición programados por comando, requiriendo los valores de las variables de corriente de polarización del láser, temperatura del láser, potencia óptica de salida, entre otros.	Si cumple	5
b) ¿Genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según lo especificado en la recomendación UIT-T G.783? Estas estadísticas de desempeño deben incluir como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821. • Reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas. 	Se generan estadísticas de desempeño de acuerdo a las recomendaciones G.784, G.826, G.828 y G.829 en las áreas de estadísticas de error, disponibilidad, protección, re-enrutamiento y sincronización.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) ¿Cómo realiza el desempeño de la conmutación a protección?	Consultando el valor de los registros correspondientes de acuerdo a la respuesta al literal anterior.	Si cumple	10
24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:			
a) ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?	Sí realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas.	Si cumple	10
b) ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?	Si, es posible programar umbrales de desempeño para el disparo de alarmas.	Si cumple	5
c) ¿Puede realizar rutinas de pruebas y diagnostico que permitan aislar fallas rápidamente?	Si se pueden realizar rutinas de pruebas y diagnostico.	Si cumple	10
d) ¿Permite hacer corrección de fallas?	Si, el sistema permite actuar correctivamente para resolver las fallas.	Si cumple	10
e) ¿Puede generar históricos de fallas?	El sistema de gestión a nivel de elemento EM o de Subred NM almacena alarmas históricas de los eventos en la red.	Si cumple	10
f) ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?	El sistema ofrece una interfaz para ser conectada a un sistema de seguimiento de fallas (Trouble Tickets) pero directamente no lo provee.	Si cumple	5
25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:			
a) ¿Posee la opción de gateway de seguridad para filtrar el tráfico de entrada y salida de servicios?	El sistema de gestión ofrece las prestaciones de seguridad propias del sistema operativo HP-UX.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) Puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Prevención. • Detección. • Autenticación. • Autorización. • Contención y recuperación. 	El sistema de gestión ofrece las prestaciones de seguridad propias del sistema operativo HP-UX.	Si cumple	10
c) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?	El sistema ofrece, hace y realiza el proceso de autenticación con la interfaz WEB cada vez que esta trata de ser acezada.	Si cumple	5
d) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los siguientes cuatro niveles de acceso a los elementos de la red? <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1: Acceso de sólo lectura para ver las alarmas e información de desempeño. • Nivel 2: Adicional al nivel 1, permite el uso de herramientas de diagnóstico y pruebas. • Nivel 3: Acceso de lectura y escritura, más el control total de los equipos propuestos (aprovisionamiento, información de monitoreo y control, etc.). • Nivel 4: Adicional al nivel 3, que cuente con todas las funciones de administración. 	Dependiendo de a que nivel (local, elemento o red) se está haciendo el acceso, se tienen los niveles requeridos.	Si cumple	10
e) ¿Genera registro de los históricos de acceso a los elementos de la red?	Si, el sistema de gestión posee logs donde se registran los accesos a los elementos de red por parte de los usuarios del sistema.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
26.-En cuanto a los requerimientos mecánicos, ambientales y de energía:			
a) ¿El cableado de fibra en el equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas o rejillas?	Los cableados de fibra están siendo cableados a través de escalerillas y rejillas en los lados de los bastidores. Estos bastidores disponen de puertas con el fin de proteger los equipos del polvo. Para las conexiones entre bastidores se dispone de bandejas las cuales podrán estar protegidas con tapas si así se requiere.	Si cumple	5
b) ¿Los equipos DWDM pueden ser instalados en los bastidores de los equipos SDH/PDH que posee TELCEL BELLSOUTH instalados en su red de transporte?	Nuestra recomendación es que se instalen en bastidores independientes. Sin embargo, se podría evaluar que tipos de bastidores, espacio disponible y disipación de calor que tienen actualmente tienen la red de TELCEL.	Si cumple. Los sub-bastidores pueden ser instalados en bastidores que posee Telcel Bellsouth pero es recomendable que se instalen en sus propios bastidores.	5
c) ¿Qué condiciones ambientales soporta el equipo DWDM en cuanto a la temperatura y la humedad?	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia electromagnética: Cumple el estándar europeo EN-55022 clase A. • Susceptibilidad electromagnética: Cumple la norma IEC 801-2, IEC 801-3 • Descargas electrostáticas: Cumple el estándar europeo EN-55101-2, CEPI 1610 • Temperatura: - 5 °C a + 45 °C (ETSI EN 300 019-1-3 Clase 3.2) • Humedad: Relativa 95% a 25 °C (ETSI EN 300 019-1-3 Clase 3.2) • Altura: 2.200 mm del bastidor ETSI más 200mm de la bandeja porta cables. 	Si cumple	5
d) ¿Cuál es el consumo de energía del equipo DWDM y como es su sistema de alimentación?	Para los equipos DWDM los valores de operación son: -38.5 V dc a -75V dc Equipos PLX: EI PLT40/80 CORE @10Gb/s equipado completamente es de 220W máximo. EI PLT40/80 EXT. @10Gb/s equipado completamente es de 631W máximo. EI PLA/PLD CORE @10Gb/s equipado completamente es de 270W máximo. EI PLD EXTENSION @10Gb/s equipado completamente es de 736W máximo.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	ERICSSON PLT 40/80 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
27.- ¿Dispone de personal capacitado en el país para prestar soporte técnico, de manera de dar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier problema que se presente? ¿Especifique la estructura del departamento de soporte técnico?	Se dispone de personal capacitado en Venezuela. Ericsson dispone en su lista de servicios a ofertar de un System Support el cual es accesado a través del Customer Interaction Center regional, el cual analiza en primera instancia el problema reportado y lo escala de acuerdo a su prioridad. En caso de ser necesario asistencia en sitio este centro informará tal necesidad al personal local de Venezuela si fuese necesario de su asistencia.	Si cumple	5
28.- ¿El equipo DWDM cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T?	Los equipos DWDM cumplen con los diversos estándares internacionales.	Si cumple	5
Subtotal de las preguntas críticas.			327
Subtotal de las preguntas no críticas.			161
Total de la matriz de cumplimiento.			488

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWAI OPTIX BWS 320G		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>1.- El equipo DWDM posee un conjunto de interfaces que le permite servir de plataforma de transporte de alta capacidad, confiable y transparente. ¿Su sistema DWDM dispone de las siguientes interfaces?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptadores de longitudes de onda (WLA's) o Transponders. • Interfaz coloreada. • Tarjeta Multi-rate. 	<p>El sistema OptiX DWDM ofrece unidades de transponder óptico (OTU) para acceder a señales SDH/ATM/IP de otros fabricantes y también puede ser integrado directamente al equipo vía las interfaces coloreadas de los equipos SDH OptiX. El sistema OptiX DWDM ofrece acceso multi-servicios, incluyendo señales ópticas SDH en la tasas de STM-64/16/4, y servicios de datos como IP, ATM y Gigabit Ethernet.</p>	Si cumple	10
<p>2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta Adaptadora de longitud de onda (WLA):</p>			
<p>a) ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?</p>	<p>El OptiX BWS 320G puede soportar hasta 32 señales monocromáticas STM-16 o STM-64. Un sistema DWDM abierto para 32 canales requiere de 4 bastidores, donde cada bastidor consta de dos sub-bastidores, menos el último que tiene un solo sub-bastidor. Con la ayuda de la tarjeta OCU (4 STM-16 X STM-64) se puede transportar hasta 128 señales STM-16.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima exigida es de 16 canales.	10
<p>b) ¿Cuántas tarjetas Adaptadoras de longitudes de onda (WLA's) soporta un sub-rack?</p>	<p>Un sub-rack puede soportar hasta 13 tarjetas OTUs.</p>	Si cumple, ya que la cantidad mínima por sub-rack es de 8 transponder.	5
<p>c) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?</p>	<p>La interfaz STM-16 cumple con las recomendaciones UIT-T G.957 y G.707</p>	Si cumple	10
<p>d) ¿Indique si los WLA's tienen control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.</p>	<p>Se tiene una tolerancia de 12800 ps/nm y 700 ps/nm para 2.5 y 10 Gbps respectivamente. El OptiX BWS 320G posee adicionalmente la tarjeta DCU para la compensación en fibra óptica G.652 y G.655.</p>	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:			
a) ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, Fibre Channel, Fiber Coupling, Digital Video, IP, Frame Relay y ATM?	El OptiX BWS 320G puede ser accesado por equipos de otros fabricantes a través de la tarjeta LWM (Unidad Conversora de Longitud de Onda Multi Rate) con señales SDH STM-1/4/16 o ATM. También se dispone de la tarjeta LWX que realiza la conversión de longitud de onda de cualquier velocidad entre 34 Mbps y 2.5 Gbps. La LWE realiza la conversión de longitud de onda para Gigabit Ethernet.	Si cumple	10
b) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	Cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707.	Si cumple	10
c) ¿Señalar las recomendaciones UIT que cumplen con las interfaces?	La LWE en la interfaz de entrada cumple con la IEEE 802.3Z (longitud de onda de 1310 nm o 850 nm) y en la interfaz de salida con ITU-T G.692, y también G.652, G.653, G.664, G.691, G.692, G.707, G.709, G.798, G.827, G.872, G.957 y G.958.	Si cumple	5
d) ¿La tarjeta Multi-rate puede ser instalada en el mismo sub-bastidor DWDM o requiere un sub-bastidor adicional?	La LWM y LWX pueden ser instaladas en el mismo sub-bastidor con cualquier otra OTU.	Si cumple	5
4.- En caso de que el equipo disponga de tarjetas coloreadas:			
a) ¿La señal esta coloreada o canalizada según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación UIT-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF?	Los equipos del OptiX SDH pueden ser directamente conectados al OptiX BWS 320G para implementar un sistema DWDM integrado.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora / Demultiplexora del equipo DWDM:			
a) ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?	El OptiX BWS 320G dispone de la tarjeta M16 y D16, así como también la M32 y D32, las cuales multiplexan y demultiplexan 16 y 32 canales respectivamente. El Optix BWS 320G puede multiplexar de 1-32 señales de hasta 10 Gbps. El espaciado entre canal es de 100 GHz.	Si cumple	10
b) ¿Qué velocidades son soportadas por cada canal?	Puede soportar señales SDH STM-1/4/16/64 y señales de cualquier velocidad entre 34 Mbps y 2.5 Gbps.	Si cumple, ya que la máxima velocidad de TX exigida es un STM-64.	5
c) ¿En que banda (s) opera el equipo?	El Optix BWS 320G opera en la banda C,	Si cumple	5
d) ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?	El Optix BWS 320G opera en la banda C.	No cumple	0
6.- ¿Qué tipo de tecnología o componentes pasivos es empleado por el equipo DWDM para la etapa de multiplexación/Demultiplexación? Ejemplo: Prism Refraction, Waveguide Grating Diffraction, Arrayed Waveguide Gratings, etc.	Las tarjetas M32 y D32 empleadas para multiplexar y demultiplexar utilizan la tecnología AWG (Arrayed Waveguide Grating). La M16 y D16 emplean filtros interferométricos multi-layer dielectric thin film	Si cumple, el mux/demux de 16 canales utiliza thin film filter, cuyas pérdidas de inserción y distorsión son representativas para más de 16 canales; y para un mux/demux de 32 canales se recomienda usar AWG o rejillas de difracción de Bragg. También es aceptable, ya que la modularidad mínima que ofrece es de 16 canales.	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos, en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF? ¿Indique las relaciones existentes entre las distancias del enlace y los números máximos de longitudes de onda?	El sistema 80G (32 canales x 2.5 Gbps) tiene un span budget de 40 dB. El sistema 320G (32 canales x 10 Gbps) tiene un span budget de 36 dB, si se adopta tecnología FEC.	Si cumple, ya que la exigencia mínima es un span budget de 25 dB para 32 canales @ 2.5 Gbps	10
8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?	Utilizan el presupuesto de potencia, la tolerancia de dispersión, el OSNR. El software que ofrecen calcula el OSNR.	Si cumple	5
9.- ¿Cuál es el máximo alcance y numero de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores Intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?	El sistema 80G (32 canales x 2.5 Gbps) puede soportar: 8 spans x 22 dB, 5 spans x 30 dB y 3 spans x 33 dB. El sistema 320G (32 canales x 10 Gbps) si adopta la tecnología FEC puede soportar: 3 spans X 31 dB, 6 spans X 24 dB, y 8 spans x 22 dB.	Si cumple	10
10.- ¿El Amplificador óptico utilizado por equipo DWDM en el transmisor y/o receptor cumple con la recomendación UIT-T G.662 (secciones 10 y 11) y G.663?	Si cumple con las recomendaciones G.662 y G.663 para características y aplicaciones de OFA.	Si cumple	5
11.- ¿Cuales son los valores nominales que posee el equipo DWDM en cuanto a la potencia de salida del amplificador (Booster) y la sensibilidad del receptor?	El booster y el preamplificador óptico pueden transmitir a una potencia máxima de 20 dBm.	Si cumple. En cuanto a la sensibilidad del receptor para 2.5 Gbps para un fotodiodo PIN es -18 dBm y para un APD es -25 dBm, y para 10 Gbps el fotodiodo APD tiene -14 dBm.	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
12.- ¿El equipo DWDM es capaz de generar alarmas como ISOL (Input Signal Out Level) y LOS (Loss of Signal) al deteriorarse la señal a la entrada de los adaptadores de longitud de onda (WLA's) en el lado receptor? ¿Qué tipos de señales se generan?	<p>Las alarmas generadas y reportadas por el sistema de gestión son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Och_CLIENT LAYER: R_LOS, R_OOF, R_LOF, TF, B1_EXC, B1_DEG, TD, J0_MM, B2_EXC, B2_DEG, R_LOC, IN_POWER_HIGH, OUT_POWER_LOW. • Och LAYER: R_LOS, R_OOF, R_LOF, TF, B1_EXC, B1_DEG, TD, J0_MM, B2_EXC, B2_DEG, R_LOC, IN_POWER_HIGH, OUT_POWER_LOW, FEC_LOF, FEC_OOF, G.709 Overhead alarms. • OMS/OTS LAYER: MUL_LOS, SUM_INPWR_HIGH, SUM_INPWR_LOW, SUM_OUTPWR_HIGH, SUM_OUTPWR_LOW. 	Si cumple	10
13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al numero de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del numero de canales?	La técnica de Gain Locking es aplicada en los amplificadores. La ganancia del amplificador es constante, y es independiente del numero de canales.	No cumple totalmente, ya que no controla la potencia de salida del canal en función del numero de canales que pueda llegar a tener el enlace.	1
14.- ¿El equipo DWDM esta en la capacidad de ejecutar el procedimiento ALS (Automatic Laser Shut Down), tal como lo establece la recomendación UIT-T G.958 (Sistemas de Líneas Digitales basadas en la jerarquía digital síncrona para su utilización en cables de fibra óptica) ?	El equipo OptiX BWS 320G soporta la función de ALS y APR (reducción automática de potencia).	Si cumple	5
15.- En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:			
a) ¿Cuántas configuraciones permite implementar? Ejemplo: Estándar, Expandida, Single-Channel, etc.	El OptiX 320G tiene cuatro tipos de equipos que pueden implementarse: el terminal óptico de multiplexación/demultiplexación (OTM), amplificador óptico de línea (OLA), el OADM, y el regenerador eléctrico (REG). En cuanto a las configuraciones que el sistema puede implementar, puede utilizar o no el booster y el preamplificador, puede emplear el mux/demux de 32 o 16 canales, puede utilizar el OADM y el OLA.	No dispone de mux/demux de pocos canales, no permitiendo configuraciones de pocos canales como el single channel.	1

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar numero de piezas en repuestos?	Los equipos DWDM Huawei pueden interconectarse con los equipos SDH Huawei con las interfaces ópticas coloreadas, y en tal caso se ahorran las OTUs.	No cumple. No tiene piezas comunes con el sub-bastidor del mux/demux SDH/SONET.	0
c) Al reemplazar las tarjetas en el equipo. ¿Qué tipo restablecimiento ofrece el equipo? Ejemplo: automático, forzado.	Soporta restablecimiento automático y forzado.	Si cumple	5
16.- En cuanto a la topología de red:			
a) ¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?	El OptiX BWS 320G permite implementar topologías punto a punto, en cadena y en anillo.	No cumple totalmente. A través de la unidad OLP se puede establecer una topología terminal 1+1, pero solo a nivel de la sección óptica multiplexada (OMS), más no del canal óptico (OCh). Este tipo de protección requiere contar con 4 fibras, 2 para trabajo y 2 para protección.	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>b) ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2F, BLSR/4F?</p>	<p>El OptiX BWS 320G permite implementar topologías punto a punto, en cadena y en anillo.</p>	<p>No cumple totalmente. El equipo DWDM permite implementar una protección UPSR, BLSR/2F y BLSR/4F a nivel de la capa SDH/SONET, en la capa óptica solo puede ofrecer una protección del tipo OBLSR/4F (OMS-SPRing)</p>	<p>5</p>
<p>17.-¿El equipo DWDM además de ser utilizado como terminal puede ser configurado como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) e ILA (In Line Amplifier)? ¿En el caso de poder ser configurado como un OADM cuantos canales se pueden extraer/insertar? ¿Para la configuración ILA señalar que técnica es usada para la supervisión remota de este sistema y que recomendación de la UIT se sigue para tal fin?</p>	<p>El OptiX BWS 320G puede operar como terminal (OTM). El equipo OptiX BWS 320G puede ser configurado como OADM a partir de la tarjeta MR2, y puede alcanzar a extraer/insertar hasta 8 canales cuando es colocada en cascada. También se puede extraer/insertar hasta 32 canales si se emplea una configuración back to back con OTM-to- OTM. El OptiX BWS 320G puede operar como ILA y es supervisado a partir de un canal de supervisión óptico de 1510 nm.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>18.-¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?</p>	<p>El OptiX BWS 320G soporta una protección (1+1) en la sección óptica multiplexada y una protección (1+1) con las OTUs.</p>	<p>No cumple. No soporta una protección (1+1) en los canales ópticos. La protección (1+1) con las OTUs es soportada con la capa SDH.</p>	<p>0</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
19.- En cuanto a la capacidad de integración del equipo DWDM: ¿El equipo puede ser interconectado con los equipos existentes en la red SDH de TELCEL BELLSOUTH de los proveedores ECI y Alcatel?	El sistema OptiX BWS 320G puede interconectarse con los equipos SDH de otros fabricantes.	Si cumple	5
20.-¿Su equipo dispone de canales de servicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11?	Si el equipo dispone de canales de servicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11.	Si cumple	5
21.- En cuanto al sistema de gestión a nivel general:			
a) ¿El equipo dispone de software de gestión?	El sistema OptiX BWS 320G puede ser gestionado por el OptiX iManager T2000 y el T2100 que es de orden mayor.	Si cumple	10
b) ¿El sistema de gestión y su arquitectura cumple con la recomendación UIT-T G.784?	El sistema de gestión OptiX iManager cumple con la recomendación UIT-T G.784.	Si cumple	10
c) ¿El equipo puede ser gestionado por el software disponible en TELCEL BELLSOUTH?	El OptiX iManager T2000 posee interfaces Q3 y CORBA para interconectarse con el sistema de gestión de otros fabricantes.	Si cumple	5
d) ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?	El OptiX iManager T2000 soporta gestión remota.	No cumple, ya que a pesar de permitir una conexión remota, esta no es a través de Internet o de la Web. El sistema soporta acceso remoto de la gestión de la red vía modem, donde el protocolo IP utiliza el protocolo SLIP.	0

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
e) ¿El sistema puede generar mapas de visualización de los eventos?	Sí, el sistema puede generar mapas de visualización de los eventos en la red.	Si cumple	5
f) ¿La plataforma de gestión de su sistema DWDM es compatible TMN y configurado por capas y áreas funcionales según la recomendación UIT-T M3010?	El OptiX iManeger es compatible TMN y cumple con la recomendación UIT-T M3010.	Si cumple	10
g) ¿Cuál es la escalabilidad del sistema de gestión? ¿Cuántos elementos de red pueden ser manejados simultáneamente con varias aplicaciones y arreglos de software licenciados?	El T2000 puede gestionar hasta 600 DWDM NEs simultáneamente.	Si cumple	5
h) ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?	La capa de gestión de los NE se tienen interfaces Q3 y CORBA. En la capa de gestión de red se tiene interfaces Q3.	No cumple con SNMP ni TL-1	5
i) ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?	Sí, la plataforma de gestión puede manejar alarmas externas.	Si cumple. La unidad de monitoreo de ambiental y de la fuente de poder provee 6 alarmas de entrada.	5
j) ¿El sistema de gestión posee interfaces u opciones que permitan integrarse con sistemas como SQL de acceso directo a la base de datos?	El OptiX iManeger dispone de interfaces para integrarse a bases de datos.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
k) ¿A través de la gestión de red o gestión local mediante un Craft Terminal se puede realizar telemedidas para tener control de los niveles presentes en el equipo? Como por ejemplo medir la corriente promedio del láser.	Sí, el sistema de gestión permite realizar telemedidas.	Si cumple	5
l) ¿El sistema de gestión de red o local permite realizar carga remota de software?	Sí, el sistema de gestión de red y local permite realizar carga remota de software.	Si cumple	10
m) ¿Su sistema de gestión puede interactuar con un sistema de gestión de orden superior y dispone de las interfaces abiertas para ello?	El T2000 es un sistema de gestión de sub-red y puede ser interconectado con un sistema de gestión de orden superior como el T2100 vía la una interfaz estándar Q3. El T2100 es un sistema de gestión de red.	Si cumple	10
n) ¿ El equipo dispone de alguna interfaz F que permita el manejo del enlace través de un Craft Terminal o CID (Craft Interface Devive)? En el caso de poseer dicha interfaz: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? • ¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? • ¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? 	El OptiX BWS 320G dispone de una interfaz F que adopta el estándar RS-232 y proporciona un acceso al local craft terminal, permitiendo un mantenimiento local de los elementos de red.	Si cumple	10
22.- El sistema de gestión al nivel de la configuración:			
a) ¿Permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local (Craft Terminal), como desde el sistema de gestión de red?	El OptiX iManger T2000 soporta estas funciones.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO		HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)	
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda?	Sí, el sistema permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda.	Si cumple	10
c) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio?	Sí, el sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio.	Si cumple	10
d) ¿ El sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red (nodos, enlaces físicos y lógicos)?	Sí, el sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red	Si cumple	5
23.- El sistema de gestión al nivel del desempeño:			
a) ¿Cómo obtiene y evalúa las condiciones de los recursos de la red?	La gestión del desempeño colecta varios datos estadísticos para monitorear o corregir el estado y desempeño de la red y de los NEs y ayudar a los usuarios a analizar y planificar la red.	Si cumple	5
b) ¿Genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según lo especificado en la recomendación UIT-T G.783? Estas estadísticas de desempeño deben incluir como mínimo: <ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821. • Reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas. 	Si genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según la norma G. 783.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) ¿Cómo realiza el desempeño de la conmutación a protección?	<p>La conmutación a protección es realizada en los casos que le sistema de gestión detecte un estado anormal como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • OCh_client layer: R_LOS, R_OOF, R_LOF, TF, B1_EXC, B1_DEG, TD, J0_MM, B2_EXC, B2_DEG, R_LOC, IN_POWER_HIGH, OUT_POWER_LOW. • OCh layer: R_LOS, R_OOF, R_LOF, TF, B1_EXC, B1_DEG, TD, J0_MM, B2_EXC, B2_DEG, R_LOC, IN_POWER_HIGH, OUT_POWER_LOW, FEC_LOF, FEC_OOF, G.709 Overhead alarms. • OMS/OTS layer: MUL_LOS, SUM_INPWR_HIGH, SUM_INPWR_LOW, SUM_OUTPWR_HIGH, SUM_OUTPWR_LOW. 	Si cumple	10
24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:			
a) ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?	Sí realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas.	Si cumple	10
b) ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?	Sí genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos.	Si cumple. El OptiX iManager puede configurar, modificar e indagar sobre los valores umbrales que se han definido para el desempeño de un evento.	5
c) ¿Puede realizar rutinas de pruebas y diagnostico que permitan aislar fallas rápidamente?	Las alarmas que son reportadas desde los network elements al módulo de gestión de fallas del network management, son analizadas y proporcionadas al usuario vía gráfica o texto. Además se proporciona las posibles causas de la falla y mediciones que permiten la restauración.	Si cumple	10
d) ¿Permite hacer corrección de fallas?	El sistema de gestión permite hacer corrección de fallas.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
e) ¿Puede generar históricos de fallas?	El OptiX iManager T2000 provee un log de gestión. Este puede manejar lo siguiente: log de alarmas, log del sistema y un log de operación. Adicionalmente se provee la función de transferencia automática y manual del respaldo del archivo de históricos.	Si cumple	10
f) ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?	Sí soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets.	Si cumple. El OptiX iManager puede sacar hacia otro equipo de almacenamiento los archivos de reportes en formato ASCII.	5
25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:			
a) ¿Posee la opción de gateway de seguridad para filtrar el tráfico de entrada y salida de servicios?	El propósito de la gestión de la seguridad es prevenir el acceso de usuarios no autorizados a los recursos de la red y a equipos. Por la configuración de usuario el Solo los usuarios autorizados pueden conducir las operaciones correspondientes. A través de la configuración de usuario, el OptiX iManager construye una jerarquía de seguridad para prevenir una operación no autorizada.	Si cumple	10
b) Puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Prevención. • Detección. • Autenticación. • Autorización. • Contención y recuperación. 	Si cumple con todas las funciones indicadas.	Si cumple	10
c) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?	El OptiX iManager proporciona una gestión de usuarios multinivel. La gestión de la red puede ser configurada para implementar limites de autorización y multi-servicios. Los usuarios pueden ejecutar el acceso vía Web.	No cumple. El sistema soporta acceso remoto de la gestión de la red vía modem.	0

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>d) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los siguientes cuatro niveles de acceso a los elementos de la red?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1: Acceso de sólo lectura para ver las alarmas e información de desempeño. • Nivel 2: Adicional al nivel 1, permite el uso de herramientas de diagnóstico y pruebas. • Nivel 3: Acceso de lectura y escritura, más el control total de los equipos propuestos (aprovisionamiento, información de monitoreo y control, etc.). • Nivel 4: Adicional al nivel 3, que cuente con todas las funciones de administración. 	<p>El OptiX iManager puede configurar la jerarquía de la autoridad del usuario. Diferentes usuarios tienen diferentes autorizaciones para la operación y visualización de la gestión.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>e) ¿Genera registro de los históricos de acceso a los elementos de la red?</p>	<p>El sistema de gestión puede generar un log de acceso.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>26.-En cuanto a los requerimientos mecánicos, ambientales y de energía:</p>			
<p>a) ¿El cableado de fibra en el equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas o rejillas?</p>	<p>Sí esta protegido en su totalidad por rejillas</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>
<p>b) ¿Los equipos DWDM pueden ser instalados en los bastidores de los equipos SDH/PDH que posee TELCEL BELLSOUTH instalados en su red de transporte?</p>	<p>Pueden ser instalados en bastidores que cumplen con el estándar ETSI.</p>	<p>Si cumple. Los sub-bastidores pueden ser instalados en bastidores que posee Telcel Bellsouth pero es recomendable que se instalen en sus propios bastidores.</p>	<p>5</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	HUAWEI OPTIX BWS 320G (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) ¿Qué condiciones ambientales soporta el equipo DWDM en cuanto a temperatura y humedad?	Temperatura de 0° C a 40°C y humedad de 10 a 90%.	Si cumple	5
d) ¿Cuál es el consumo de energía del equipo DWDM y como es su sistema de alimentación?	Rango de voltaje es de: (-38.4 a -72.0 V.). El consumo de potencia a 25°C con todas las tarjetas es 430 W.	Si cumple	5
27.- ¿Dispone de personal capacitado en el país para prestar soporte técnico, de manera de dar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier problema que se presente? ¿Especifique la estructura del departamento de soporte técnico?	Huawei tiene oficinas en Caracas para ofrecer un soporte técnico y una rápida respuesta. Adicionalmente en Brasil se tiene un departamento de soporte técnico para Latinoamérica.	Si cumple	5
28.- ¿El equipo DWDM cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T?	El OptiX BWS 320G cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T.	Si cumple	5
Subtotal de las preguntas críticas.			335
Subtotal de las preguntas no críticas.			142
Total de la matriz de cumplimiento.			477

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>1.- El equipo DWDM posee un conjunto de interfaces que le permite servir de plataforma de transporte de alta capacidad, confiable y transparente. ¿Su sistema DWDM dispone de las siguientes interfaces?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adaptadores de longitudes de onda (WLA's) o Transponders. • Interfaz coloreada. • Tarjeta Multi-rate. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los módulos WCM (WDM Channel Modules): Si, posee dicha interfaz y cumplen la función de conversión óptica. • Interfaz coloreada: Si, posee dicha interfaz. Los módulos WCM (WDM Channel Modules) se encargan de entregar a los módulos multiplexores ópticos (MDXM o MDXM SBF) interfaces coloreadas seleccionadas de un espectro de 32 longitudes de onda de acuerdo con la ITU-T. • Tarjeta Multi-rate Si, posee dicha interfaz. El módulo OCR2G5T permite transporte de servicios en forma transparente desde 50 Mbit/s hasta 2,5 Gbit/s. Adicionalmente cuenta con tarjetas que permiten el manejo combinado de interfaces GbE, Fibre Channel, FICON, SDH, ATM y protocolos propietarios mientras se encuentren en el rango de velocidad de cada tarjeta. 	Si cumple	10
<p>2.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta Adaptadora de longitud de onda (WLA):</p>			
<p>a) ¿Cuántas señales monocromáticas puede transportar el equipo?</p>	<p>Nuestro equipo FSP3000 soporta hasta 32 longitudes de onda por par de fibras.</p>	<p>Si cumple, ya que la cantidad mínima exigida es de 16 transponder, pero no tienen un concentrador de 4 señales STM-16 (G.957) a una STM-64 (G.692). Un bastidor del FSP 3000 puede contener hasta 4 sub-bastidores más un sub-bastidor de protección. Cada sub-bastidor puede contener ocho módulos de canal.</p>	8

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Cuántas tarjetas Adaptadoras de longitudes de onda (WLA's) soporta un sub-bastidor?	Puede soportar hasta 8 tarjetas adaptadoras de longitud de onda por sub-bastidor.	Si cumple, ya que la cantidad mínima por sub-bastidor es 8 transponder.	5
c) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-16 cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	Sí, la interfaz óptica STM-16 (para alcance tipo estándar y tipo extendido) cumple con la norma G.957. La recomendación G.707 describe procedimientos de multiplexación SDH, la cual no es aplicable para el FSP3000 ya que el mismo provee el transporte de señales SDH en forma transparente.	La interfaz óptica STM-16 del WLA debe cumplir con la recomendación G.707, ya que debe estar en capacidad de soportar código de línea NRZ.	5
d) ¿Indique si los WLA's tienen control de dispersión cromática y cual es su rango de compensación? Ejemplo: De 0 ps/nm hasta 2000 ps/nm.	WLA estándar para STM-16 posee una tolerancia a la dispersión que le permite lograr alcances de hasta 100kms en fibras SSMF; con WLA's STM-16 de "alcance extendido" o "extended reach" es posible lograr hasta los 200kms. Si se requirieran distancias mayores, pueden usarse módulos adicionales para compensación de dispersión (DMC, dispersion compensation modules).	A pesar de que los transponder tienen una tolerancia a la dispersión, esta es muy baja, sobre todo a velocidades de 2.5 Gbps.	5
3.- En caso de que el equipo disponga de la tarjeta adaptadora Multi-rate:			
a) ¿Dispone en el mercado de una tarjeta adaptadora Multi-rate para el manejo de diferentes interfaces de manera simultanea, permitiendo así la incorporación de tráfico PDH a 140 Mbps, SDH a STM-1, STM-4 y STM-16, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, ESCON, FDDI, FibreChannel, Fiber Coupling, Digital Video, IP, Frame Relay y ATM?	Se tienen disponibles las siguientes tarjetas adaptadoras multi-rate: - OCU-C, OCR2G5T, tarjetas adaptadoras 3R que soportan cualquier señal dentro del rango de 50Mbps hasta 2.5Gbps (por ejemplo SDH, SONET, GbE, SAN, y señales de vídeo). - WCM1062, 1250, que soportan señales del tipo GbE, Fibre Channel, FICON, mas protocolos propietarios que se encuentren en el rango de la tarjeta. - WCM155, 622, 1250, que soportan señales GbE, OC-12 / STM-4, OC3 / STM-1, ATM155, ATM622, mas protocolos propietarios que se encuentren en el rango de la tarjeta. Para STM16/ATM2488 y STM64-10GbE LAN física/10GbE WAN física, existen tarjetas adaptadoras separadas. En cuanto al tráfico PDH, el mismo es agregado al sistema SDH antes de ingresar a los sistemas DWDM.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿La interfaz física de alta velocidad STM-1, STM-4 y STM-16 de la tarjeta Multi-rate cumple completamente con la recomendación UIT-T G.957 y G.707?	El sistema multirate OCR2G5T permite entrada de interfaces en el rango de 50 Mbit/s hasta 2,5 Gbit/s, entre estas señales SDH que cumplen con la norma G.957. La recomendación G.707 describe procedimientos de multiplexación SDH, la cual no es aplicable para el FSP3000 ya que el mismo provee el transporte de señales SDH en forma transparente.	No cumple con la recomendación G.707	5
c) ¿Señalar las recomendaciones UIT que cumplen con las interfaces?	G.652, G.653, G.655, G.692, G.691, G.957. Otras normas son IEEE 802.3, GR.253, FC-PI-10.0	Si cumple	5
d) ¿La tarjeta Multi-rate puede ser instalada en el mismo sub-bastidor DWDM o requiere un sub-bastidor adicional?	Todas las tarjetas con excepción de la OCU-C OCR2G5T pueden ser instaladas en el mismo sub-bastidor. El sub-bastidor para la tarjeta OCR2G5T puede alojar hasta 17 unidades.	Si cumple	5
4.- En caso de que el equipo disponga de tarjetas coloreadas:			
a) ¿La señal esta coloreada o canalizada según el grid de frecuencias de canales establecido en la recomendación UIT-T G.692 para las aplicaciones con fibras G.652 y G.655 NZDSF?	Las longitudes de onda de los módulos de los canales cumplen totalmente con las especificaciones ITU-T G.692 con un "grid" de 200GHz. Por su parte el FSP3000 soporta fibras tipo ITU-T G.652, G.653 y G.655.	Si cumple	10
5.- En cuanto a la capacidad Multiplexora / Demultiplexora del equipo DWDM:			
a) ¿Cuál es la capacidad mínima de canales o longitudes de onda? ¿Cuántos canales máximos soporta el equipo? ¿Cuál es el espaciado entre los canales?	SP3000 soporta configuraciones muy flexibles de filtros, cualquier canal entre el 0 y el número 32 puede ser configurado a un determinado nodo OADM: todos con cero canales son posibles cuando se requiere un "pass through" de canales entre estaciones, o cuando se requiere amplificación óptica solamente. Soluciones de un canal en escenarios punto a punto son posibles sin el uso de filtros, permitiendo de esta forma el uso de sub-bastidores de características ultra planas con reducciones de costo significativas. Configuraciones ampliables hasta 4 canales son posibles mediante el uso de una sola etapa de filtros Configuraciones ampliables hasta 8 canales son posibles mediante el uso de filtros en cascada. Configuraciones ampliables hasta 32 canales son posibles mediante el uso de filtros en cascada.	Debido a que el FSP3000 solo dispone de 16 longitudes de onda en la banda C, hace que sea sub-utilizada esta banda, y sobre todo por que la fibra SMF-28 esta optimizada para operar en TDM y WDM operando en al región de los 1550 nm.	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Qué velocidades son soportadas por cada canal?	capacidad máxima es 10Gbps por canal. Tomando el número máximo de canales, tenemos una capacidad total por fibra de 10 Gbit/s x 32 = 320 Gbps.	Si cumple, ya que la máxima velocidad de transmisión exigida es un STM-64.	5
c) ¿En que banda (s) opera el equipo?	Las longitudes de ondas de las bandas C y L del espectro.	Si cumple, ya que la banda requerida es la C.	5
d) ¿El equipo puede operar tanto en la banda C como en la L?	Si puede operar en la banda C y L.	Si cumple	5
6.- ¿Qué tipo de tecnología o componentes pasivos es empleado por el equipo DWDM para la etapa de multiplexación/Demultiplexación? Ejemplo: Prism Refraction, Waveguide Grating Diffraction, Arrayed Waveguide Gratings, etc.	Utiliza filtros dieléctricos, y los mux/demux (MDXM) son de cuatro canales agrupados en sub-bandas. Existe la posibilidad de formar hasta ocho sub-bandas conformando 32 canales diferentes.	Si cumple a pesar de que utiliza filtros cuyas pérdidas de inserción son altas para mux/demux de más de 16 canales, al utilizar un esquema de filtros en sub-bandas de 8 canales reduce las pérdidas de inserción y la distorsión. También ofrece alta modularidad.	10
7.- ¿Cuál es la máxima distancia que el equipo DWDM puede cubrir sin amplificadores ni regeneradores intermedios entre dos nodos, en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF? ¿Indique las relaciones existentes entre las distancias del enlace y los números máximos de longitudes de onda?	<ul style="list-style-type: none"> • Hasta 32 CH @ 2.5 Gbps => con OSC: 24.1 dB, sin OSC: 24.5dB • Hasta 8 CH @ 2.5 Gbps => con OSC 26 dB, sin OSC: 28dB • Hasta 4 CH @ 2.5 Gbps => con OSC: 28 dB, sin OSC: 30.2dB • Hasta 32 CH @ 10 Gbps => con OSC: 17.1 dB, sin OSC:17.5dB • Hasta 8 CH @ 10Gbps => con OSC: 19 dB, sin OSC: 17dB • Hasta 4 CH @ 10 Gbps => con OSC: 21 dB, sin OSC: 23.2dB 	No cumple totalmente, ya que la exigencia mínima es un span budget de 25 dB para 32 canales @ 2.5 Gbps	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
8.- ¿Qué tipo de criterios es seguido para el cálculo de los enlaces con su sistema DWDM? ¿Tienen algún software que permita verificar estos criterios?	La planificación de soluciones para el FSP3000 involucra la planeación de conexiones lógicas incluyendo el agrupamiento de canales, asignación de longitudes de onda, y enrutamiento así como cálculos de potencia, dispersión y SNR. El programa de software desarrollado en la casa matriz FSP network planner es usado para realizar estas labores.	Si cumple	5
9.- ¿Cuál es el máximo alcance y numero de longitudes de ondas que el equipo DWDM soporta al implementar amplificadores Intermedios entre dos nodos en fibra UIT-T G.652 y G.655 NZDSF?	La máxima distancia en un escenario de varios nodos depende de factores como la topología (inserción o extracción lineales, anillos, número de nodos, número de sitios de amplificación), conexiones lógicas, (solamente de trafico adyacente, tráfico mezclado), protección, (si/no), y el tipo, de señal (2.5Gbps o 10Gbps). Para 4 canales @ 2.5 Gbps en una topología lineal (sin protección) se tiene: <ul style="list-style-type: none"> • Para 3 nodos (2 spans) la longitud del span es de 23.5 dB. • Para 6 nodos 85 spans) la longitud del span es de 20 dB. (limite de la dispersión es a 200 km). • Para 9 nodos (8 spans) la longitud del span es de 10 dB. (limite de la dispersión es a 200 km). 	No cumple totalmente, ya que la cantidad de spans que el sistema puede tolerar es muy pequeña al igual que su respectivo el span budget.	2
10.- ¿El Amplificador óptico utilizado por equipo DWDM en el transmisor y/o receptor cumple con la recomendación UIT-T G.662 (secciones 10 y 11) y G.663?	El FSP3000 permite el uso de pre-amplificadores ópticos dopados con erbio y amplificadores lineales (EDFAs). Las recomendaciones G.662 y G.663 tienen características descriptivas solamente.	Si cumple con las recomendaciones G.662 y G.663 de las características y aplicaciones de los OFA.	5
11.- ¿Cuales son los valores nominales que posee el equipo DWDM en cuanto a la potencia de salida del amplificador (Booster) y la sensibilidad del receptor?	<ul style="list-style-type: none"> • La WLA para 2.5 Gbps (FSP3000): $TX_{MIN} = 5$ dBm y una $RX_{MIN} = -30$ dBm para un OSNR>23 dB. • La WLA para 10 Gbps (FSP3000) : $TX_{MIN} = 5$ dBm y una $RX_{MIN} = -22$ dBm para un OSNR>23 dB. • La WLA OCU-C OCR2G5T: $TX_{MIN} = 1.5$ dBm y una $RX_{MIN} = -27.5$ dBm @ 2.5 Gbps, para un BER de 10^{-12} 	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
12.- ¿El equipo DWDM es capaz de generar alarmas como ISOL (Input Signal Out Level) y LOS (Loss of Signal) al deteriorarse la señal a la entrada de los adaptadores de longitud de onda (WLA's) en el lado receptor? ¿Qué tipos de señales se generan?	El monitoreo del performance en capas físicas es posible para todos los módulos activos, ambos locales o remotos. Para secciones existe la posibilidad de comparar parámetros de módulos e interfaces específicas. Entre los parámetros tenemos: temperatura, potencia óptica, etc. Las tarjetas SDH con sistema de monitoreo opcional proveen ventajas basadas en la evaluación de los bits de los encabezados, A1, A2, B1, LOS, LOF, LOC y SEF/OOF. Con las alarmas de la OCU-C OCR2G5T se pueden detectar niveles bajos de potencia. Adicionalmente la ODU (Optical channel data unit) posee la ventaja de monitorear LOF, EBER y desempeño vía BIP-128 y monitoreo de tramos.	Si cumple	10
13.- ¿Cuál técnica utiliza el equipo DWDM para el control automático de la potencia de salida en el amplificador (Booster) de acuerdo al número de canales? ¿Cumple con la recomendación UIT-T G.664? ¿Esta es constante o variable dependiendo del número de canales?	Los EDFAs del FSP3000 son controlados por corriente. La potencia de salida es una función de la potencia de entrada. Debido a esto se evita la necesidad de controles costosos debido a la filosofía EDFA donde la amplificación es hecha para grupos simples de 4 fibras.	No cumple totalmente, la técnica empleada no mantiene constante la potencia de salida de cada canal.	1
14.- ¿El equipo DWDM esta en la capacidad de ejecutar el procedimiento ALS (Automatic Laser Shut Down), tal como lo establece la recomendación UIT-T G.958 (Sistemas de Líneas Digitales basadas en la jerarquía digital síncrona para su utilización en cables de fibra óptica) ?	Los EDFA's soportan mecanismos ALS (Automatic Láser Shutdown) con umbrales de -32dBm. Las EDFA's son productos láser clase 1. El sistema FSP3000 es un producto láser clase 1 que cumple con las especificaciones IEC60825-1, IEC60825-2 e IEC60950. La G.958 ha expirado hace ya algunos años.	Si cumple	5
15.- En cuanto a la flexibilidad del hardware que ofrece el equipo DWDM:			
a) ¿Cuántas configuraciones permite implementar? Ejemplo: Estándar, Expandida, Single-Channel, etc.	El FSP3000 es altamente flexible y permite configuraciones de canal simple, nodos OADM pequeños con estructuras de multiplexación serial así como nodos OADM con multiplexación paralela los cuales pueden ser fácilmente actualizables a la totalidad de la capacidad.	Si cumple	5
b) En caso de que aplique. ¿Posee piezas comunes con los equipos SDH de su propia manufactura permitiendo ahorrar número de piezas en repuestos?	Los sistemas SDH y DWDM conforman grupos de tarjetas independientes	No cumple	0

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) Al reemplazar las tarjetas en el equipo. ¿Qué tipo restablecimiento ofrece el equipo? Ejemplo: automático, forzado.	El switch para la protección de caminos es forzado y no-revertible. El retorno de la protección es perfectamente posible en forma manual.	Si cumple	5
16.- En cuanto a la topología de red:			
a) ¿El equipo DWDM permite una topología punto a punto: terminal (1+1)?	El sistema FSP3000 ofrece una topología punto a punto con un esquema de protección tanto a nivel del canal óptico como de la sección óptica multiplexada.	Si cumple. La protección del canal óptico se logra con el módulo Remote Switch (RSM), y el de la sección óptica multiplexada es con el módulo de canal.	10
b) ¿El equipo DWDM permite una topología en anillo con protección UPSR, BLSR/2F, BLSR/4F?	El FSP3000 está optimizado para topologías en anillo. La protección correspondiente del camino óptico ofrece protección real "end-to-end", por ejemplo cubriendo el camino completo de principio a fin. Otra alternativa es implementar la protección en la capa SDH/SONET mediante mecanismos UPSR, 2F-BLSR o 4F-BLSR usando la capa DWDM como capa de transporte. En este caso la plataforma DWDM provee enrutamiento redundante y la plataforma SDH provee la capacidad de switching.	Si cumple. El FSP3000 además de implementar la protección en la capa SDH/SONET mediante mecanismos UPSR, BLSR/2F o BLSR/4F usando la capa DWDM como capa de transporte, protege la capa óptica con mecanismos como OBPSR, OBLSR/4F y el OSNCP.	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>17.-¿El equipo DWDM además de ser utilizado como terminal puede ser configurado como un OADM (Optical Add/drop Multiplexer) e ILA (In Line Amplifier)? ¿En el caso de poder ser configurado como un OADM cuantos canales se pueden extraer/insertar? ¿Para la configuración ILA señalar que técnica es usada para la supervisión remota de este sistema y que recomendación de la UIT se sigue para tal fin?</p>	<p>En un determinado nodo OADM, cualquier numero de canales desde el 0 hasta el 32 pueden ser insertados y extraídos. Los nodos ILA son supervisados como cualquier otro usando el canal de supervisión el cual es extraído antes de las EDFA's y añadido después de la amplificación.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>18.-¿Dispone el equipo de protección automática 1:N al nivel de los canales o longitudes de ondas?</p>	<p>La alta confiabilidad del equipo FSP 3000 es alcanzada no sólo con características tales como altos valores de los parámetros de confiabilidad sino también con la disponibilidad de protecciones "1+1 Optical Path Protection" y "1+1 Line Protection".</p> <p>La protección "1+1 Optical Path Protection" es aplicable prioritariamente a la topología en anillo, de forma que el camino óptico tomado por la transmisión de un determinado servicio es duplicado recorriendo trechos del anillo físicamente separados. Esta protección puede implementarse de dos formas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Externa en la que el equipo cliente ya dispone de dos señales iguales para ingresar en la plataforma metro • Interna, en la que un módulo pasivo "splitter" (PM – protection module) divide la señal proveniente del equipo cliente en dos señales iguales. <p>La protección "1+1 Line Protection" es aplicable prioritariamente a la topología punto a punto. En este tipo de protección, la señal de agregado es enviada a un módulo de comutación de protección llamado RSM (Remote Switching Module) que gerenciará el uso de dos pares de fibras, siendo un par para operación y el otro para la protección propiamente dicha.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
19.- En cuanto a la capacidad de integración del equipo DWDM: ¿El equipo puede ser interconectado con los equipos existentes en la red SDH de TELCEL BELLSOUTH de los proveedores ECI y Alcatel?	La interconexión de los sistemas SDH instalados con los transponders del FSP3000 no ofrece ningún problema, la capa óptica ofrece transporte transparente de señales tributarias.	Si cumple	5
20.-¿Su equipo dispone de canales deservicio de acuerdo con las recomendaciones G.703 y V.11?	El sistema provee un OSC (Optical Supervisory Channel). Este canal es transmitido sobre el mismo par de fibras donde viaja la información del cliente, en longitudes propias para este sistema Adicionalmente esto permite gestión local y remota. Teniendo en cuenta que este canal es implementado como Fast Ethernet, existe la posibilidad de enviar información adicional de datos del cliente, como VoIP, por el mismo canal siempre y cuando el ancho de banda así lo permita.	Si cumple	5
21.- En cuanto al sistema de gestión a nivel general:			
a) ¿El equipo dispone de software de gestión?	Cumple, el software de gestión ofrecido con estos equipos es el TNMS Core. El mismo puede manejar completamente la amplia gama de productos ópticos Siemens. Adicionalmente ofrece funciones de gestión ITU-T M.3010.	Si cumple	10
b) ¿El sistema de gestión y su arquitectura cumple con la recomendación UIT-T G.784?	El sistema es basado en la recomendación G.784.	Si cumple	10
c) ¿El equipo puede ser gestionado por el software disponible en TELCEL BELLSOUTH?	La gestión del equipo es realizada a través del TNMS Core. Este provee interfaces "Northbound" TMF, Corba y/o SNMP para la integración con sistemas tipo paraguas como los que pueda disponer Telcel BellSouth.	Si cumple	5
d) ¿Existe la posibilidad de una gestión basada en la Web?	Si es posible mediante un Web Client instalado con el TNMS Core.	Si cumple	5
e) ¿El sistema puede generar mapas de visualización de los eventos?	Si, dentro del TNMS Core se pueden visualizar los eventos en forma de correlación de alarmas a servicios con cambios de colores en casos de fallas. En la interfaz gráfica (GUI), los elementos de red se representan mediante iconos.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>f) ¿La plataforma de gestión de su sistema DWDM es compatible TMN y configurado por capas y áreas funcionales según la recomendación UIT-T M3010?</p>	<p>De acuerdo con la norma ITU-T M.3010, las funciones de administración incluyen en las capas más inferiores los dos niveles siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nivel de administración de red con funciones de configuración de secciones, trayectos, supervisión, control de la red, protección de trayectos y secciones. - Nivel de administración de elemento con funciones de control y supervisión de los elementos de red, configuración de los elementos de red y localización de fallas en los mismos. <p>De acuerdo con esta clasificación las funciones de administración de elemento de red se visualizan como un subconjunto del sistema de gestión de red. Desde el sistema de gestión de red centralizado es posible acceder los elementos de red en forma idéntica a como se puede realizar localmente en cada estación.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>10</p>
<p>g) ¿Cuál es la escalabilidad del sistema de gestión? ¿Cuántos elementos de red pueden ser manejados simultáneamente con varias aplicaciones y arreglos de software licenciados?</p>	<p>El TNMS Core provee una amplia variedad de escenarios. Este sistema puede mantener la gestión desde ciudades pequeñas hasta importantes redes nacionales o internacionales, que incluyan miles de elementos.</p> <p>El TNMS Core es capaz de gestionar hasta:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4000 SMA-1 equivalentes. Un SMA-1 equivalente es la capacidad de procesamiento que demanda un multiplexor Siemens SMA-1. • 25000 servicios. • 10 TNMS NetServer. • 25 Clientes (incl. WEB Clients). <p>El sistema TNMS Core con es capaz de manejar y gestionar hasta 3500 elementos de red FSP3000.</p>	<p>Si cumple</p>	<p>5</p>

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>h) ¿El sistema de gestión posee interfaz abierta Q3, según las recomendaciones Q.811 y Q.812 (RS-232, Ethernet, X.25, TCP/IP) y modelo de información orientado a objetos para operaciones interactivas de gestión (Rec. 3100 y G.774 de la UIT-T), así como SNMP ambientes estándar TCP/IP, TL-1 y CORBA? ¿Hacia que capas están orientadas estas interfaces?</p>	<p>Por haber una gran variedad de sistemas a gestionar PDH, SDH y DWDM, el sistema TNMS Core ofrece diferentes protocolos Q, entre estos QD2/B3, Qst/B3, QD2/SISA y Q3 de acuerdo con Q.811 y Q.812. Igualmente de acuerdo con M.3100 y G.774. La Interfaz SNMP es también soportada.</p> <p>Con respecto a la interfaz TMF Corba, (TCOM - TMF Corba Manager) es un componente opcional para la integración de gestores externos.</p> <p>Esta solución puede ser usada para la integración de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementos de red propios del mismo fabricante, • Elementos, redes y sub-redes de otros fabricantes bajo la misma plataforma de gestión TNMS mediante el estándar TMF Corba. <p>El requisito para esto es que los elementos del otro fabricante acepten o contengan interfaces TMF Corba para su interconexión. Evidentemente siempre es necesario algún esfuerzo de integración y desarrollo para unificar la supervisión de los sistemas.</p> <p>El TNMS Core puede ser integrado con sistemas de otros proveedores usando interfaces estándar TMF Corba ya que provee el agente TCOA (TMF Corba Agent) para la conexión con terceros. En la misma dirección aguas arriba el sistema puede ser integrado sistema de gestión tipo paraguas para una gestión centralizada de multiplicidad de técnicas y elementos.</p>	Si cumple	10
<p>i) ¿Su plataforma de gestión puede manejar alarmas externas? ¿Esta en la capacidad de soportar al menos 16 entradas y cuatro salidas de control con reportes programables?</p>	<p>Si posee alarmas TIF configurables.</p> <p>El soporte de alarmas externas de los elementos de red, comúnmente llamadas alarms TIF (telemetry interface alarms) es definido por el administrador del sistema como nuevos tipos de objeto, así como las causas probables con características y prioridades. En este caso, si se presenta una nueva alarma externa, se observaría un detalle en la pantalla del sistema junto con la información detallada de la misma.</p> <p>El FSP 3000 provee la posibilidad de alarmas externas por contacto seco (5 entradas y 5 salidas).</p>	Si cumple	5
<p>j) ¿El sistema de gestión posee interfaces u opciones que permitan integrarse con sistemas como SQL de acceso directo a la base de datos?</p>	<p>El TNMS Core soporta acceso automático vía la interfaz OLE-DB/ADO (Object Linking and Embedding - Data Base for Active Data Objects). Con la ayuda de herramientas externas, el contenido de estos datos pueden ser accesados en una forma acondicionada y regular. Alternativamente, el TNMS Core provee una herramienta especial llamada PLET (Log Export Tool), que permite exporta la información del sistema de gestión.</p>	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
k) ¿A través de la gestión de red o gestión local mediante un Craft Terminal se puede realizar telemidas para tener control de los niveles presentes en el equipo? Como por ejemplo medir la corriente promedio del láser.	Si, el sistema de gestión se puede realizar telemidas.	Si cumple	5
l) ¿El sistema de gestión de red o local permite realizar carga remota de software?	Sí, el sistema de gestión permite realizar cargas remotas de software.	Si cumple	10
m) ¿Su sistema de gestión puede interactuar con un sistema de gestión de orden superior y dispone de las interfaces abiertas para ello?	Si, el TNMS Core provee una interfaz TMF Corba y SNMP tipo "Northbound" que permiten interconectarse con sistemas de supervisión de nivel superior tipo "umbrella".	Si cumple	10
n) ¿ El equipo dispone de alguna interfaz F que permita el manejo del enlace través de un Craft Terminal o CID (Craft Interface Devive)? En el caso de poseer dicha interfaz: <ul style="list-style-type: none"> • ¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? • ¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? • ¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? 	<p>¿Se puede tener acceso a todos los nodos de la red? Si se tiene la posibilidad de accesar el equipo en forma local mediante una interfaz serial tipo F.</p> <p>¿Se puede tener acceso a todos los nodos desde todos los elementos de la red? Si, para el TNMS Core.</p> <p>¿Se pueden reportar las alarmas generadas directamente? Si, las alarmas reportadas por el TNMS Core son en tiempo real.</p> <p>Dentro de las funciones de Administración de Fallas del sistema de gestión TNMS Core, el listado de alarmas actual (Current Alarm List) muestra la situación de alarmas en diferentes contextos: Red, subred y elemento de red.</p> <p>¿Se pueden reportar el equipamiento de los sub-bastidores? Si el TNMS Core permite tener relaciones e inventarios del hardware y software de los sistemas operando en la red bajo su supervisión.</p>	Si cumple	10
22.- El sistema de gestión al nivel de la configuración:			
a) ¿Permite la recuperación y programación de las configuraciones en cada equipo local o remoto tanto desde el sistema de gestión local (Craft Terminal), como desde el sistema de gestión de red?	Si, desde el sistema TNMS Core así como desde el sistema local LCT (Local Craft Terminal) es posible realizar funciones de configuración de los elementos.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Permite la provisión de servicios como activación, desactivación y modificación del ancho de banda?	Si, En las funciones de configuración está la provisión de servicios en lo que se refiere a su activación, desactivación y modificación de ancho de banda.	Si cumple	10
c) ¿El sistema de gestión tiene la capacidad de hacer actualizaciones del software y expansión del hardware mientras el equipo esta en servicio?	Si, el TNMS Core es capaz de ser actualizado en hardware y/o software sin interrumpir el tráfico ni cambiar las funcionalidades de operación.	Si cumple	10
d) ¿ El sistema de gestión tiene la capacidad de realizar inventario local y remoto de los elementos de la red (nodos, enlaces físicos y lógicos)?	Si el TNMS Core soporta formatos de datos XML (Extensible Markup Language). Esto permite de forma fácil importar/exportar información referente a la configuración de la red y/o redes, dominios lógicos, sub-redes, puertos de conexión, suscriptores, servicios, etc. A través del Element Manager presente en el FSP3000 se puede contar con información detallada de los elementos presentes en la red (tarjetas, sub-bastidores, versiones de hardware y software, etc.)	Si cumple	5
23.- El sistema de gestión al nivel del desempeño:			
a) ¿Cómo obtiene y evalúa las condiciones de los recursos de la red?	Después de definir los servicios/caminos, el usuario define la topología de la red mediante el método de arraste y colocación de elementos (iconos en la interfaz GUI). En esta interfaz se pueden definir el principio y final de los puertos de conexión, así como la dirección de los mismos. El sistema verifica e indica cualquier error en el diseño. Mediante el uso del botón de opciones se pueden realizar optimizaciones de las alternativas de enrutamiento y opciones de protección. Inclusive mediante la opción de "least hops", el sistema la ruta con distancias mínimas y menor número de nodos. Un usuario con el acceso apropiado puede definir factores de costo para cada conexión. Inclusive el patrón de enrutamiento puede ser realizado de acuerdo a los parámetros que se le seleccionen. De igual forma se puede definir en base a los puertos de conexión y disponibilidad de ancho de banda.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
<p>b) ¿Genera estadísticas de desempeño para todos los puertos e interfaces según lo especificado en la recomendación UIT-T G.783? Estas estadísticas de desempeño deben incluir como mínimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821. • Reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas. 	<p>En cuanto a las estadísticas de cumplimiento a la recomendación UIT-T G.826 y G.821, si cumple, ya que el TNMS Core recolecta, presenta y guarda información referente a las recomendaciones UIT-T G.826 y G.821.</p> <p>Los reportes de disponibilidad a cada nivel de conexión, con sus respectivos umbrales y alarmas programadas, Si cumple, notificaciones (TCN - Threshold Crossing Notifications) de la red son manejadas directamente por el TNMS Core. La alarma usada por las TCN es la calidad de servicio.</p>	Si cumple	10
<p>c) ¿Cómo realiza el desempeño de la conmutación a protección?</p>	<p>En caso de eventos de conmutación a protección, un "trap" es enviado vía SNMP desde el FSP3000 al TNMS Core.</p> <p>Lo solicitado en este numeral hace parte de las Funciones de Administración de Desempeño de acuerdo con la norma M.3010. TNMS Core permite monitorear la calidad de transmisión en la red en uno o más elementos de red usando una serie de PMPs (performance measurement points). Los PMPs se pueden definir también para un trayecto o servicios específico.</p>	Si cumple	10
24.- El sistema de gestión al nivel de las fallas:			
<p>a) ¿Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas?</p>	Sí Realiza monitoreo y status de la actividad de las interfaces y alarmas externas.	Si cumple	10
<p>b) ¿Genera notificaciones de alarmas a todo nivel y ajusta los umbrales para los valores de alarmas presentes en los equipos (Tunning)?</p>	El TNMS Core provee notificación de alarmas como alarmas sonoras. Adicionalmente una interfaz de colores en los iconos indica los niveles de prioridad y severidad de las alarmas entrantes.	Si cumple	5
<p>c) ¿Puede realizar rutinas de pruebas y diagnóstico que permitan aislar fallas rápidamente?</p>	En el caso de sucederse una falla, se presenta una indicación en el sistema con su respectivo resumen, indicando posibles soluciones para la misma en funciones de los parámetros predefinidos en el sistema.	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
d) ¿Permite hacer corrección de fallas?	Si permite hacer corrección de fallas, donde se indica la posible causa de la misma.	Si cumple	10
e) ¿Puede generar históricos de fallas?	En el TNMS Core las alarmas se presentan de la siguiente forma: Alarmas Corrientes. Las alarmas corrientes presentan un listado de las situaciones de acuerdo a: la red, sub-red o elemento de red. La lista de alarmas corrientes pueden ser ordenadas y filtradas para su uso posterior. Igualmente todas las alarmas verificadas y/o esclarecidas se mantienen en el histórico que el sistema crea para al red.	Si cumple	10
f) ¿Soporta funciones concernientes a los Trouble Tickets como es su emisión, seguimiento y cancelación?	El TNMS ofrece la funcionalidad de análisis mediante una interfaz OSSJ para cualquier herramienta de Trouble Ticketing. Si se requiriese que la herramienta TT sea usada y no se dispone de la interfaz OSSJ, se puede realizar una adaptación mediante un software. Estas facilidades son soportadas por la versión 8.5 en adelante.	Si cumple	5
25.- El sistema de gestión al nivel de la seguridad:			
a) ¿Posee la opción de gateway de seguridad para filtrar el tráfico de entrada y salida de servicios?	Si, el TNMS Core soporta TCM para la medida del delta de un parámetro de desempeño entre el ingreso y egreso a la red.	Si cumple	10
b) Puede realizar las siguientes funciones: <ul style="list-style-type: none"> • Prevención. • Detección. • Autenticación. • Autorización. • Contención y recuperación. 	Prevención: Si cumple. Detección: Si cumple. Autenticación: Si cumple. Autorización: Si cumple. Contención y recuperación: Si cumple. El TNMS Core ofrece la posibilidad de realizar pruebas de consistencia de la base de datos. Estas pruebas comprenden: <ul style="list-style-type: none"> - Prueba de la integridad física de los datos. - Pruebas de la integridad lógica. Estas pruebas se pueden realizar en forma manual o automática Como mecanismos de protección generales se tiene: <ul style="list-style-type: none"> - Disco duplicado para el servidor TNMS Core Server. - Servidor principal con "Warm Standby" (no se presenta en esta oferta). - Servidor Netserver con "Cold standby" (no se presenta en esta oferta). - Rutinas de "Backup" de la base de datos. - Rutinas de "Recovery" de la base de datos. 	Si cumple	10

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
c) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autenticación de identificar al usuario u organización que hace el acceso vía Web?	Si puede identificar el usuario y la organización.	Si cumple	5
d) ¿Tiene la capacidad en cuanto a la autorización de proveer los siguientes cuatro niveles de acceso a los elementos de la red? <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1: Acceso de sólo lectura para ver las alarmas e información de desempeño. • Nivel 2: Adicional al nivel 1, permite el uso de herramientas de diagnóstico y pruebas. • Nivel 3: Acceso de lectura y escritura, más el control total de los equipos propuestos (aprovisionamiento, información de monitoreo y control, etc.). • Nivel 4: Adicional al nivel 3, que cuente con todas las funciones de administración. 	<p>El TNMS Core soporta cinco clases de usuarios:</p> <p>Supervisor : El supervisor puede observar la totalidad de la red, pero carece de funciones de configuración y modificación.</p> <p>Mantenimiento: El usuario de Mantenimiento es el encargado del mantenimiento de la red. Incluye las funciones del supervisor más ciertas funciones de modificación en los elementos de red y las alarmas generadas.</p> <p>Operación: Este usuario está diseñado para operar el sistema. Incluye las funciones del de Mantenimiento para las de modificación, creación y borrado de servicios.</p> <p>Configuración : El configurador tiene la función de configurar la red. Este usuario dispone de todos los beneficios y ventajas que su clase le da sobre la red. Posee todas funciones y posibilidades del sistema de gestión para la gestión de usuarios.</p> <p>Administrador: El administrador es el encargado de administrar todo el sistema, por lo que dispone de las funciones del configurador más el resto de las funciones administrativas para la gestión total del sistema.</p>	Si cumple	10
e) ¿Genera registro de los históricos de acceso a los elementos de la red?	Si cumple. Se genera un registro en el cual queda registrado el nombre e identificación del usuario, hora y fecha del acceso y tipo de acción realizada.	Si cumple	10
26.- En cuanto a los requerimientos mecánicos, ambientales y de energía:			
a) ¿El cableado de fibra en el equipo DWDM esta protegido en su totalidad por tapas o rejillas?	Las fibras recorren trayectos a lo largo de los subracks y racks que las mantienen protegidas mecánicamente.	Si cumple	5

MATRIZ DE CUMPLIMIENTO	SIEMENS FSP 3000 (continuación)		
PREGUNTAS	RESPUESTAS	OBSERVACION	PTOS
b) ¿Los equipos DWDM pueden ser instalados en los bastidores de los equipos SDH/PDH que posee TELCEL BELLSOUTH instalados en su red de transporte?	El sistema ofrecido se instala en bastidores tipo NEBS o ETSI.	Si cumple. Los sub-bastidores pueden ser instalados en bastidores que posee Telcel Bellsouth pero es recomendable que se instalen en sus propios bastidores.	5
c) ¿Qué condiciones ambientales soporta el equipo DWDM en cuanto a la temperatura y la humedad?	Temperatura: +5°C to +45°C long term (ETS 300019/1-3 Class 3.1; NEBS level 3), -5°C to +55°C short term Humedad Relativa: 95% at +40°C (NEBS level 3).	Si cumple	5
d) ¿Cuál es el consumo de energía del equipo DWDM y como es su sistema de alimentación?	Consumo: max. 384W por bastidor completo. El bastidor posee dos fuentes de energía @ -48Vdc.	Si cumple	5
27.- ¿Dispone de personal capacitado en el país para prestar soporte técnico, de manera de dar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier problema que se presente? ¿Especifique la estructura del departamento de soporte técnico?	El Departamento de Servicios de la Región Andina cuenta con amplia experiencia en instalación, puesta en funcionamiento y soporte de redes DWDM.	Si cumple	5
28.- ¿El equipo DWDM cumple con estándares reconocidos y especificaciones tales como el ATM Forum, IEEE, ANSI, ETSI, UIT-T?	El FSP 3000 cumple con los estándares internacionales.	Si cumple	5
Subtotal de las preguntas críticas.			315
Subtotal de las preguntas no críticas.			166
Total de la matriz de cumplimiento.			481

Bibliografía

1. Jean-Pierre Laude, "DWDM Fundamentals, Components, and Applications", Artech House, 2002.
2. Stamatios V. Kartalopoulos, "Fault Detectability in DWDM", IEEE Press, 2001.
3. J. Franz & V. Jain, "Optical Communication Systems", Academic Willey, 1996.
4. A. E. Willner & S. M. Hwang, "Transmission of Many WDM Channels Through a Cascade of EDFA's in Long-Distance and Ring Networks", Journal of Lightwave 13, pp. 802-816, May 1995.
5. A. R. Chraplyvy, "Limitations on Lightwave Communications Imposed by Optical-Fiber Nonlinearities", Journal of Lightwave Technology, 8, pp. 1548-1557, October 1990.
6. T. Li, "The Impact of Optical Amplifiers on Long-Distance Lightwave Telecommunications," Proceedings of the IEEE", 81, pp. 1568-1579, November 1993.
7. G. P. Agrawal, "Fiber-Optic Communication Systems", John Wiley and Sons, New York, 1992.
8. G. P. Agrawal, "Nonlinear Fiber Optics", Academic Press, 1995.
9. G. Keiser, "Optical Fiber Communications", 2nd Edition, Mc Graw Hill, New York, 1991.
10. M. Eiselt., "Limits on WDM Systems Due to Four-Wave Mixing: A Statistical Approach", Journal of Lightwave Technology, vol 17, N° 11, November 1999, pp. 2261-2267.
11. N.S. Bergano & C.R. Davidson, "Wavelength division multiplexing in long-haul transmission system", J. Lightwave Technol., vol. 14, pp. 1299-1308, June 1996.
12. Robert W. Freund, "Digital Transmission System Signalling Protocol", September 2000.
13. Roshene McCool, "Alma Memo 3492, Jodrell Bank Observatory, University of Manchester, UK.

14. Tom Baldwin & Steven Durand, "IF Fiber Selection Criteria", EVLA Memorandum 32, Version 7, November 14, 2001.
15. <http://www.ttt.upv.es/frames/fibra/efectos.html>.
16. <http://www.lucent-optical.com/>
17. <http://www.nortelnetworks.com/products/optical/>
18. <http://www.alcatel.com/telecom/>
19. <http://www.fiberoptics.about.com>
20. <http://www.fiberoptics.about.com>
21. <http://www.covertdigest.com/dwdm.htm>
22. <http://www.iec.org/tutorials>
23. <http://www.download.wg.com/brochures/dwdm.pdf>
24. <http://www.cis.ohio-state.edu/>
25. http://www.lafacu.com/apuntes/fisica/trab_inves_optica/default.htm
26. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/74>
27. <http://www.foservice.com/software.htm>
28. <http://www.glownetworks.com/whitepapers/thecostofPMD.pdf>
29. <http://www.conelectronica.com/articulos/fibra32a.htm>
30. http://www.cienciafisica.com/sistemas_opt1/sistemas027.htm
31. <http://www.bwtek.com>
32. <http://www.physionet.cps.unizar.es/ngarces/docencia/pdfs/>
33. <http://www.cisco.com>
34. <http://www.circadiant.com>
35. <http://www.vitesse.com>
36. <http://www.picometrix.com>
37. <http://www.fcsi.fujitsu.com>
38. <http://www.newport.com>
39. http://www.oida.org/PTAP/prototypes/us_6_18.html
40. <http://www.tektronix.com/optical>
41. <http://www.sensorsinc.com>
42. <http://www.triquint.com>
43. <http://www.analog.com>