

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y  
COMUNICACIONES**

**“ESTUDIO DE LAS REDES OPTICAS DE ACCESO  
DWDM Y FACTIBILIDAD DE SER IMPLEMENTAS  
EN LA ZONA CENTRAL DEL ECUADOR”.**

**AUTOR: JUAN PABLO PALLO NOROÑA**

**DIRECTOR: ING. JULIO CUJI.**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TITULO DE INGENIERIO EN ELECTRÓNICA.**

**AMBATO – ECUADOR**

**Diciembre 2004**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco especialmente a mi director de tesis al Ing. Julio Cuji y al coordinador de carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones al Ing. Mario García por su ayuda para el fin de este proyecto de tesis .

A mis profesores de la facultad, quienes me formaron no solo académicamente también moralmente y éticamente.

JUAN PABLO.

## **DEDICATORIA.**

A Dios por darnos la vida , a mi madre , que me dejaste vivir y cumplir todos mis sueños te dedico este trabajo, con tu paciencia y amor desde muy pequeño me enseñaste la responsabilidad y con tu esfuerzo y dedicación he llegado a la meta que siempre has deseado; por ti madre mía es esta profesión que se pudo obtener juntos con el sacrificio y bondad que me diste desde que era un niño.

A mi familia especialmente a mis tíos Iván y Blanca; ya que en ellos encontré no solo lo económico sino palabras de aliento y de ánimo, para salir de muchos problemas.

Muchas gracias a todos por confiar en mi; y siempre les voy a ayudar .

JUAN PABLO.

## **DECLARACIÓN.**

Yo, Juan Pablo Pallo Noroña, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y , que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica de Ambato, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley, Reglamento de Propiedad Intelectual y por la Normatividad Institucional Vigente.

---

Juan Pablo Pallo Noroña.

## **CERTIFICACIÓN.**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Pablo Pallo Noroña,  
bajo mi supervisión.

---

Ing. Julio Cuji.

**DIRECTOR DEL PROYECTO.**

## INDICE

Prologo.....	i
Presentación.....	iii
Índice.....	v
Índice de figuras.....	xx
Índice de tablas.....	xxvii

### CAPITULO I: FUNDAMENTOS DE LAS REDES ÓPTICAS.

1.1. Introducción.....	1
1.2. Criterios de selección del Medio de Transmisión.....	2
1.2.1. El Medio de Transmisión .....	2
1.3. Fibra Óptica.....	4
1.4. Características Principales.....	5
1.4.1. Estructura.....	6
1.4.2. Cono de Aceptación.....	6
1.4.3. Longitud de Onda.....	7
1.4.4. Definición de la ventana óptica y del modo de transmisión.....	9
1.4.5. Modos de Transmisión.....	11
1.4.5.1. Monomodo.....	11

1.4.5.1.1. Diseños de fibra monomodo.....	12
1.4.5.2. Multimodo.....	14
1.4.5.2.1. Multimodo Índice Gradual.....	14
1.4.4.2.2. Multimodo Índice Fijo.....	14
1.4.6. Ancho de banda.....	15
1.4.7. Atenuación.....	15
1.4.8. Apertura Numérica.....	17
1.4.9. Dispersión.....	18
1.4.9.1. Dispersión Modal.....	19
1.4.9.2. Dispersión Espectral.....	19
1.5. Características Técnicas.....	19
1.6. Características Mecánicas.....	21
1.6.1. Curvado.....	22
1.6.2. Microcurvaturas.....	23
1.7. Ventajas y Desventajas del uso de la Fibra Óptica.....	23
1.7.1. Desventajas.....	24
1.8. Aplicaciones.....	25
1.9. Tendidos y Uniones de Fibra Óptica.....	26
1.9.1. Técnicas de tendido.....	26
1.9.1.1. Tendidos Aéreos.....	27
1.9.1.2. Tendidos Subacuáticos.....	27
1.9.1.3. Tendidos Subterráneos.....	28

1.9.2. Técnicas de empalme de fibras.....	29
1.9.2.1. Empalmes de fusión.....	30
1.9.2.2. Empalmes mecánicos.....	31
1.9.3. Conectores.....	32
1.9.3.1. Construcción de un conector.....	33
1.9.3.2. Conectores mas utilizados.....	34
1.10. Fundamentos de las redes de comunicaciones.....	37
1.10.1. Introducción.....	37
1.10.2. Tipos de Redes.....	38
1.10.2.1.Redes de Corta Distancia (LAN).....	38
1.10.2.2. Redes de Larga Distancia (WAN).....	38
1.10.2.3. Redes de Área Extensa (MAN.).....	39
1.10.2.4. Redes de Acceso.....	39
1.10.2.5.Redes de Transporte.....	40
1.10.2.6. Redes de Conmutación.....	40
1.10.2.7.Redes Inalámbricas.....	41
1.10.2.8. Redes Fijas.....	42
1.10.2.9. Redes Móviles.....	42
1.10.2.10. Redes SAN (Storage Area Network).....	43
1.11.Tecnologías de Multiplexación .....	44
1.11.1. TDM. (Time División Multiplexing ).....	44
1.11.2. WDM. (Wavelength División Multiplexing).....	45

1.11.3.FDM ( Frecuency División Multiplexing ).....	45
1.12. Técnicas de Acceso.....	46
1.12.1.CDMA (Code Division Multiple Access) .....	46
1.12.2.TDMA (Time Division Multiple Access).....	46
1.12.3.FDMA ( Frecuency División Multiple Access) .....	47
1.12.4.FAMA ( Fixed Assigned Multiple Access ) .....	47
1.12.5.DAMA ( Demand Assigned Multiple Access ).....	47
1.12.6.SDMA (Space Division Multiple Access).....	48
1.13. Redes de Fibra Óptica .....	48
1.13.1.Redes Ópticas Pasivas (PON) .....	49
1.13.2.FTTH (Fiber to the Home).....	50
1.13.3.FTTB(Fiber to the Building).....	50
1.13.4.FTTC (Fiber to the Curb).....	51
1.13.5.FTTcab (Fiber To The Cabinet).....	51
1.13.6.HFC (Hybrid Fiber Coax).....	51

## **CAPITULO II: DESCRIPCION DE LAS TECNICAS DE MULTIPLEXACION**

### **xWDM**

2.1. Generalidades.....	52
2.1.1. Introducción.....	52
2.2 Redes de Alta Velocidad SDH/SONET.....	54
2.2.1. Antecedentes.....	54

2.2.2 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).....	55
2.2.3. Infraestructura de SDH/SONET.....	57
2.2.4. Multiplexacion SDH.....	60
2.2.4.1. Trama STM-1(Synchronous Transport Module nivel 1)....	64
2.2.5. Elementos de una Red SDH.....	65
2.2.6. Topologías de la Red SDH.....	67
2.2.7. Enlaces en una Red SDH/SONET.....	68
2.2.8. Recomendaciones de la ITU – T a los sistemas SDH.....	69
2.2.9. Inconvenientes con SDH/SONET.....	74
2.3. WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda).....	75
2.3.1. Diagrama Esquemático de un Sistema WDM.....	76
2.3.2. Componentes de un Sistema WDM.....	76
2.3.2.1. Emisores de luz – LEDS y Láseres.....	77
2.3.2.2. Receptores.....	80
2.3.2.3. Amplificadores Ópticos.....	81
2.3.2.3.1. Amplificador (EDFA).....	81
2.3.2.4. Multiplexadores y Demultiplexadores.....	83
2.3.2.4.1. Multiplexadores Ópticos Add/Drop.....	86
2.3.2.5. Filtros Ópticos.....	87
2.3.2.6. DCM (Dispersion Compensation Module) .....	91
2.3.3. Normalización WDM de la ITU –T.....	91
2.3.3.1. Separación de Canales.....	92

2.3.3.2. Desviación de la Frecuencia Central.....	92
2.3.4. Aplicaciones, Ventajas e Inconvenientes de WDM.....	93
2.3.4.1. Aplicaciones y Ventajas.....	93
2.3.4.2. Inconvenientes de WDM.....	95
2.4 x WDM.....	95
2.5. Técnicas de Multiplexación x WDM.....	96
2.5.1. x WDM.....	96
2.5.2.CWDM.....	98
2.5.2.1. Aplicaciones de CWDM.....	100
2.5.2.2.Recomendación UIT- T para CWDM.....	101
2.5.2.3.Planificación de Canales en Sistemas CWDM.....	103
2.5.3.DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing).....	105
2.5.3.1. Definición.....	105
2.5.3.2.Tipos de Equipos DWDM.....	106
2.5.3.2.1. Equipos de Redes Long-Haul.....	107
2.5.3.2.2. Los Equipos de Redes Metropolitanas.....	107
2.5.3.3.Aplicaciones.....	108
2.5.3.4.Evolución de DWDM.....	110
2.5.3.5.Ventajas de DWDM.....	111
2.5.3.6.Funciones del Sistema DWDM.....	112
2.5.3.7. Comparación de CWDM con DWDM.....	114
2.5.4.FWDM(Filter Wavelength Division Multiplexing).....	115

2.5.4.1. Características y usos.....	116
2.5.4.2. Especificaciones técnicas de FWDM.....	116
2.5.5. WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing).....	118
2.5.5.1. Arquitecturas WWDM.....	118
2.6. Comparación de las Técnicas de Multiplexación x WDM.....	121

### **CAPITULO III: ESTUDIO DE LAS REDES OPTICAS DWDM.**

3.1. Definición de DWDM.....	122
3.2. Características de DWDM.....	125
3.3. Desarrollo de la Tecnología DWDM.....	128
3.4. Sistema DWDM.....	130
3.4.1. Espaciamiento de Canal.....	132
3.4.2. Dirección de la Señal.....	132
3.4.3. Unidireccional.....	133
3.4.4. Bidireccional.....	133
3.4.5. Rastreo de la Señal.....	134
3.5. Sincronización.....	134
3.6. Componentes DWDM.....	136
3.6.1. Terminales Multiplexores Ópticos (TMO).....	137
3.6.2. Amplificador Óptico (AOL).....	138

3.6.3. Amplificadores de Fibra Dopados de Erbio (EDFA).....	139
3.6.3.1. Tipos de Amplificadores.....	140
3.6.3.2. Ventajas de los EDFA's.....	141
3.6.4. Multiplexor Óptico Inserción / Extracción (OADM).....	143
3.6.4.1. Requisitos Ideales de OADMs.....	145
3.6.4.2. Arquitecturas OADMs.....	145
3.6.5. Transconector Óptico (OXC).....	148
3.6.6. Transponder.....	152
3.7. Clases de Fibras en el entorno DWDM.....	153
3.8. Arquitecturas de DWDM.....	160
3.8.1. Arquitectura Broadcast and Select.....	160
3.8.2. Arquitectura Wavelength Routing.....	161
3.9. Topologías de Redes DWDM.....	163
3.9.1. Topologías Punto a Punto.....	164
3.9.2. Topologías en Anillo.....	165
3.9.3. Topologías Malladas.....	166
3.10. Aplicaciones de DWDM en el Mundo.....	168
3.11. Distintas Tecnologías sobre DWDM.....	174
3.11.1. Gigabit Ethernet.....	174
3.11.2. ATM.....	176
3.11.3. IP.....	177
3.11.4. Fibre Channel.....	177

3.11.5. DPT(Dynamic Packet Transport).....	178
3.11.6. FDDI .....	179
3.11.7. MPLS .....	182
3.11.7.1. Concepto.....	182
3.11.7.2. Aplicaciones.....	183
3.12.Proveedores de DWDM .....	184
3.12.1.Empresa PADTEC.....	184
3.12.1.1. Aplicaciones .....	184
3.12.1.2. Características.....	185
3.12.2. Empresa MARCONI.....	185
3.12.3. Empresa ALCATEL.....	186
3.12.3.1.Capacidad.....	186
3.12.3.2.Aplicaciones .....	186
3.12.3.3. Beneficios.....	186
3.12.4. Empresa NORTEL.....	187
3.12.4.1.Capacidad.....	187
3.12.4.2.Características.....	188
3.12.4.3. Beneficios.....	188
3.12.5. Empresa CISCO.....	188
3.12.5.1.Características .....	188
3.12.5.2. Beneficios.....	189
3.13.Ventajas DWDM.....	190

3.14. El Futuro de DWDM.....	191
------------------------------	-----

**CAPITULO IV: SITUACIÓN ACTUAL Y LA PLANIFICACIÓN EXISTENTE DE  
LAS REDES CON FIBRA OPTICA EN LA ZONA CENTRAL DEL PAIS.**

4.1. Introducción.....	193
4.2. Descripción General de la Red Nacional de Fibra Óptica.....	194
4.2.1. Alcance para el Proyecto de Planta Externa.....	195
4.2.2. Alcance de los Equipos de Transmisión – Gestión.....	197
4.2.3. Sistema de Gestión.....	203
4.3. Descripción Técnica de la RTFÓ en la Zona Central del País.....	206
4.3.1. Distribuidores Digitales DDF y Cableados.....	208
4.3.2. Sistema de Gestión , Red DCN y respaldo Vía Radio.....	209
4.3.3. Red de Sincronismo .....	210
4.3.4. Consumo de Energía de los Equipos.....	213
4.4. Especificaciones Técnicas del Equipos	
ADM -1/ADM-4/ADM-16.....	217
4.4.1.Generalidades de Equipos ADM.....	217
4.4.2.Equipo de Multiplexación ADM-1/ADM-4.....	219
4.4.2.1.Campo de Aplicación. ....	219
4.4.2.2.Principales Características. ....	220

4.4.2.3. Interfaces Externas. ....	221
4.4.2.4. Estructura de Multiplexación.....	226
4.4.2.5. Sincronización.....	227
4.4.3. Equipo de Multiplexación ADM-16 .....	229
4.4.3.1. Campo de Aplicación.....	229
4.4.3.2. Principales Características.....	230
4.4.3.3. Interfaces Externos.....	231
4.4.3.4. Estructura de Multiplexación.....	237
4.4.3.5. Sincronización.....	238
4.5. Especificaciones Técnicas del Sistema de Gestión.....	239
4.5.1. Arquitectura del Sistema de Gestión .....	239
4.5.2. Sistema de Gestión basado en Estándares.....	240
4.5.2.1. Tecnología de la Información de Gestión OSI.....	241
4.5.2.2. Gestión de Redes de Telecomunicaciones.....	241
4.5.2.3. Gestión de Redes de Transmisión.....	242
4.5.3. Posibilidades de Evolución del Sistema de Gestión.....	242
4.5.4. Flexibilidad del Sistema Explotación .....	243
4.5.5. Función de Gestión de Elementos de Red .....	243
4.5.5.1. Elementos a Gestionar.....	243
4.5.5.2. Requisitos de Gestión de Elementos de Red.....	243
4.5.5.3. Requerimientos del Sistema de Gestión.....	244
4.5.6. Red DCN y Respaldo Microonda.....	245

4.6. Materiales de Construcción de Planta Externa.....	247
4.6.1. Cable de Fibra Óptica.....	247
4.6.2. Características de Transmisión.....	247
4.6.3. Características Geométricas.....	250
4.6.4. Características Ambientales.....	250
4.6.5. Características Mecánicas del Cable .....	250
4.6.6. Cantidad de Fibras por tubo.....	251
4.6.7. Conectores.....	252
4.6.8. ODF (Optical Distribution Frame).....	252
4.6.9. Cámaras de Hormigón Armado Premoldeado.....	254
4.6.10. Ejecución de Empalmes.....	256
4.6.10.1. Bandeja de Empalmes.....	257
4.6.10.2. Empalme de Fibra Óptica por Fusión .....	258
4.6.11. Identificación de las Fibras Ópticas.....	258
4.7. Ampliación de la Red Troncal de Fibra Óptica del Ecuador.....	260
4.7.1. Antecedente .....	260
4.7.2. Disponibilidad.....	260
4.7.3. Capacidad.....	261
4.7.4. Ventajas de la Red de Fibra .....	261
4.7.5. Crecimiento.....	263
4.7.6. Ampliación.....	263

**CAPITULO V: EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA  
IMPLEMENTACION DE LAS REDES DWDM EN LA ZONA CENTRAL DEL  
PAIS**

5.1. Introducción.....	267
5.2. Situación actual de la RTFO en la Zona Central del Ecuador.....	268
5.2.1. Parte Técnica.....	268
5.2.2. Parte Física.....	278
5.2.3. Parte Administrativa.....	284
5.3. Diagnostico Evaluativo.....	288

**CAPITULO VI: PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA  
RED DE ACCESO DWDM**

6.1. Introducción.....	298
6.2. Estudio de Mercado.....	299
6.3. Análisis de Tráfico.....	304
6.4. Estudio Poblacional.....	304
6.5. Proyección de la Densidad Telefónica.....	311
6.5.1. Método de Gompertz.....	312
6.5.2. Método de la Curva Logística de Crecimiento.....	313
6.5.3. Calculo de la Densidad Telefónica Proyectada.....	314

6.6. Proyección de la Matriz de Tráfico.....	320
6.6.1. Consideraciones para el Tráfico generado por el uso de Internet.....	329
6.7. Diseño de la red de acceso DWDM para la Zona Central del Ecuador.....	337
6.7.1. Topología.....	343
6.7.2. Descripción de la red DWDM.....	345
6.7.3. Canalización.....	352
6.7.4. Multiplexor Siemens SMA 16/ 4.....	356
6.8. Criterios para dimensionar un enlace de fibra óptica.....	360
6.8.1. Selección del tipo de fibra óptica para la red.....	362
6.8.2. Determinación de los parámetros de transmisión.....	363
6.9. Cálculo de los parámetros de transmisión.....	370
6.9.1. Cálculos de potencia para la fibra óptica.....	370
6.10. Accesorios de terminación y conectorización de la Fibra óptica.....	376
6.10.1. Conectores.....	376
6.10.2. ODF (Optical Distribution Frame).....	377
6.10.3. Cordones de conexión y latiguillos.....	378
6.11. Instalación de equipos en centrales.....	379
6.11.1. Diagrama de bastidores, equipos SMA y distribuidores Digitales DDF.....	379

6.11.2. Layout de la central.....	379
6.11.3. Instalación del bastidor, cableado y multiplexor.....	380
6.12. Sistema de Gestión.....	386
6.12.1. Estructura del centro TNMS.....	386
6.12.2. Componentes de software del TNMS.....	390
6.12.3. Protocolos en el DCN.....	396
6.12.4. Alarmas TNMS.....	397
6.12.5. Procesamiento de la Notificación de Alarmas.....	399
6.12.6. Instalación del centro de gestión.....	401
6.13. Análisis de costos.....	404
6.13.1. Fibra óptica.....	405
6.13.2. Equipamiento.....	407
6.13.3. Costo Total del Proyecto.....	411
6.13.4. Análisis de costo – beneficio .....	412

## **CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Conclusiones.....	415
Recomendaciones.....	421

## **BIBLIOGRAFÍA.**

## **ANEXOS.**

### **A1. CATALOGOS DE EQUIPOS.**

A1.1. CATALOGO DE EQUIPOS DWDM WDM<sup>2</sup> PADTEC

A1.2. CATOLOGO DEL EQUIPO 1686 WM DE ALCATEL.

A1.3. CATOLOGO TÉCNICO DEL MULTIPLEXOR SINCRONO ADD / DROP  
SMA 16 / 4

## INDICE DE FIGURAS.

<b>CAPITULO I</b>	<b>Página</b>
1.1. Transmisión de la Fibra.....	5
1.2. Cono de aceptación.....	6
1.3. Longitud de onda y frecuencia.....	7
1.4. Aplicaciones de la Fibra Óptica.....	9
1.5. Ventanas Ópticas y del Modo de Transmisión.....	10
1.6. Fibra Óptica Monomodo.....	12
1.7. Fibra Óptica Multimodo.....	15
1.8 Atenuación en función de longitud de onda.....	16
1.9. Dispersión en una fibra óptica.....	18
1.10. Características Técnicas en una fibra óptica.....	20
1.11. Empalme por Fusión.....	31
1.12. Empalme mecánico con gel.....	32
1.13. Conector Mecánico.....	33
1.14. Estructura del Conector.....	34

1.15. Conector FC (a) Macho (b) Hembra.....	35
1.16. Conector ST (a) Macho (b) Hembra.....	35
1.17. Conector SC (a) Macho (b) Hembra.....	36
1.18. Conector Europa 2000.....	36
1.19. Red de Acceso.....	40
1.20. Arquitectura SAN.....	44
1.21. Red Óptica Pasiva.....	49
1.22. Red Punto a Punto.....	50
1.23. Las arquitecturas FTTx.....	51

<b>CAPITULO II</b>	<b>Página</b>
2.1. Multiplexación SDH.....	60
2.2. Trama STM-1.....	64
2.3. Elementos de una red SDH.....	65
2.4. Regenerador SDH.....	67
2.5. Topología SDH en anillo.....	68
2.6 Enlaces de una red SONET / SDH.....	69
2.7 WDM (Multiplexación en Longitud de Onda.).....	75
2.8. Diagrama esquemático de un sistema WDM.....	76
2.9. Principios generales de como enviar luz láser en una fibra.....	78
2.10. Esquema de una modulación externa.....	79

2.11. Amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA).....	82
2.12. Multiplexadores Y Demultiplexadores.....	85
2.13. Multiplexores y Demultiplexores Duplex.....	85
2.14. Multiplexores Ópticos OADMs.....	87
2.15. Representación de un filtro óptico.....	88
2.16. Modelo de Transporte WDM.....	94
2.17. CWDM (Course Wavelength Division Multiplexing).....	98
2.18. Aplicaciones de CWDM .....	100
2.19. Planificación de canales en sistemas CWDM.....	103
2.20 Evolución de DWDM.....	110
2.21. Ventaja de DWDM.....	111
2.22. Funciones del sistema DWDM.....	112
2.23. Costos relativos CWDM vs DWDM.....	115
2.24. FWDM Filter Wavelength Division Multiplexing).....	116
2.25. Red EPON WWDM Standard SMF.....	119
2.26. WWDM Aplicada en una red EPON.....	120

### **CAPITULO III**

### **Página**

3.1. DWDM (Dense Wavelength Wavelength).....	123
3.2. Incremento de Velocidad con DWDM.....	125
3.3. Incremento de canales con DWDM.....	126

3.4. Bandas que opera DWDM.....	126
3.5. Escala de longitud de onda de DWDM.....	128
3.6. Crecimiento en la capacidad de fibra.....	130
3.7. Diagrama de Bloques de un Sistema DWDM.....	130
3.8. Sistema unidireccional y bidireccional DWDM.....	133
3.9 Elementos que componen una red DWDM.....	137
3.10 Tipos de Amplificadores.....	141
3.11. Uso de Transponders en una Red Pto. a Pto.....	144
3.12. Utilización de los OADM.....	144
3.13 Configuración Paralelo: Conmutación de $\lambda$ .....	146
3.14 Configuración Paralelo: Conmutación de Banda.....	146
3.15 Configuración Serie: Conmutación de $\lambda$ .....	147
3.16. Configuración Serie: Conmutación de Banda.....	148
3.17. OXC.....	149
3.18 OXC conmutador de fibra.....	150
3.19 OXC conmutador de portadora.....	150
3.20 OXC con traslación de $\lambda$ .....	151
3.21. Transponder.....	153
3.22. Arquitectura broadcast and select.....	161
3.23. Arquitectura <i>wavelength routing</i> .....	163
3.24. Topología Punto a punto DWDM.....	164
3.25. Topología Anillo DWDM.....	166

3.26. Topología Malladas DWDM.....	167
3.27. Red Óptica con Tecnología DWDM para los EE.UU.....	169
3.28. Red Óptica con Tecnología DWDM en Canadá.....	170
3.29. Red Óptica con Tecnología DWDM en Europa.....	171
3.30. Red Óptica con Tecnología DWDM en Chile.....	173
3.31. Los enlace de datos y red protocolos encima de la capa óptica.....	177
3.32. Arquitectura de Anillo DPT.....	179
3.33. Redes Futuras con DWDM .....	192

<b>CAPITULO IV</b>	<b>Página</b>
4.1. Red troncal de Fibra Óptica (RTFO) en el Ecuador.....	195
4.2. Red Troncal del Ecuador.....	198
4.3. Diagrama General de la Red de Transmisión.....	199
4.4. Sistema de Gestión de la Red Troncal de Fibra Óptica.....	204
4.5. Topología Multipunto.....	206
4.6 Distribuidor Digital y Cableado de Tributarios para Equipos de Transmisión Red Troncal.....	209
4.7. Dimensionamiento de Los Multiplexores SDH de los Sistemas Quito - Guayaquil y Ambato – Cuenca.....	214
4.8. Diagrama del Sistema de Gestión para los sistemas Quito – Guayaquil y Ambato – Cuenca.....	215
4.9. Red de Sincronismo de los Sistemas Quito - Guayaquil y Ambato – Cuenca.....	216
4.10. Red DCN Sistema de Gestión.....	246

4.11.Respaldo vía Microonda Sistema Quito – Guayaquil.....	247
4.12.Cortes de las Cámaras de Hormigón Premoldeadas.....	255
4.13.Vistas de las Cámaras de Hormigón Premoldeadas.....	256
4.14.Enlace Ambato – Puyo.....	264
4.15.Futuras Ampliaciones de Fibra Óptica en el Ecuador.....	266

<b>CAPITULO VI</b>	<b>Página</b>
6.1. Abonados de telefonía fija en el País.....	299
6.2. Densidad de Telefonía Fija a Nivel Nacional.....	300
6.3. Abonados de telefonía móvil en el País.....	300
6.4. Proveedores de Internet en el País.....	301
6.5. Abonados de Internet y Cybernautas en el País.....	301
6.6. Población en la Zona Central del Ecuador en el año 2004.....	306
6.7. Crecimiento Poblacional en la Zona Central del Ecuador.....	308
6.8. Proyección de la densidad telefónica de la Zona Central del Ecuador.(Curva Logística de Crecimiento).....	318
6.9. Porcentaje de Proyección de Abonados al 2015 en la Zona Central del Ecuador.....	319
6.10. Diagrama de la Fibra Óptica en la Zona Central del Ecuador.....	337
6.11. Enlace Ambato – Puyo. ....	338
6.12. Carretera Baños – Puyo.....	340
6.13. Puente en la Carretera Baños – Puyo( Central de Agoyan).....	341

6.14. Topología física en estrella.....	344
6.15. Sinóptico de los anillos lógicos para la Red en estrella de la Zona Central del Ecuador.....	350
6.16. Diagrama de los Tributarios de la Red de Acceso con Tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador.....	353
6.17. Diagrama del Sistema de Gestión Con Tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador.....	354
6.18. Diagrama del Sistema de Sincronismo de la Red de Acceso con tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador.....	355
6.19. Diagrama de Bloques del Equipo Multiplexor SMA 16/4.....	358
6.20. Conector FC –PC.....	377
6.21. Diagrama del Bastidor.....	379
6.22. Layout de la Central .....	380
6.23. Equipamiento de un bastidor ETSI.....	381
6.24. Configuración de Módulos del Multiplexor SMA 16/4.....	383
6.25. Configuración del Tablero de Sub-bastidor.....	384
6.26. Estructura General de un centro TNMS.....	387
6.27. Distribución para la Gestión de una Red SDH.....	388
6.28. Componentes del Software del Centro TNMS.....	391
6.29. Apreciación del Software para Cliente TNMS.....	392
6.30. Funciones del Server TNMS.....	394
6.31. Apreciación del Software Netserver.....	395

6.32. Protocolos en el DCN.....	397
---------------------------------	-----

## INDICE DE TABLAS.

### **CAPITULO I** **Página**

1.1. Comparación de Medios.....	16
1.2. Comparación de las Ventajas entre Conectores y Empalmes.....	30

### **CAPITULO II** **Página**

2.1. Jerarquías digitales no-sincronas.....	55
2.2. Equivalencia en Jerarquías Digitales SDH y SONET.....	59
2.3. Contenedores Virtuales (VC).....	62
2.4. Normalización WDM de la ITU-T.....	91
2.5. Características y Usos de FWDM.....	116
2.6. Especificaciones Técnicas de FWDM.....	117
2.7. Comparativa entre tecnologías WDM según el tipo de Aplicación.....	121

### **CAPITULO IV** **Página**

4.1. Distancias en los Sistemas de la RTFO en el Ecuador.....	196
4.2. Cantidad de Tributarios equipados por Estación.....	201

4.3. Matriz de circuitos E1 del Sistema Ambato-Cuenca.....	202
4.4. Matriz de Circuitos E1 del Sistema Quito – Tulcán.....	203
4.5. Matriz de Tributarios de la Zona Central del País especialmente de los Sistemas Quito – Guayaquil y Ambato –Cuenca.....	207
4.6. Estabilidad del Holdover.....	212
4.7. Configuración del Byte S1 de encabezados de Multiplexación.....	228
4.8. Atenuación de la Fibra Óptica.....	248
4.9. Secuencia según el código de colores para Fibra Óptica.....	259
4.10. Número De Fibra Según el Estándar EIA/TIA 598.....	259

## **CAPITULO V**

## **Página**

5.1. Características Técnicas RTFO en la Zona Central del Ecuador.....	270
5.2. Interfaces de los ADM – 1 / ADM – 4 y ADM – 16.....	274
5.3. Características Físicas RTFO Zona Central del Ecuador.....	279
5.4. Plan de Emergencia.....	287
5.5. Comparación de Costos entre la fibra óptica y otras alternativas.....	293

## **CAPITULO VI**

## **Página**

6.1. Proyección de la Población de la Zona Central del Ecuador años 1994 –2004, realizada por el INEC.....	305
---	-----

6.2. Obtención de las variables “ a “ y ”b” y su ecuación aplicando los Mínimos Cuadrados .....	307
6.3. Proyección de la Población de la Zona Central del Ecuador años 2005 - 2015.....	308
6.4. Error en la Proyección de la Población.....	310
6.5. Densidad Telefónica de la Zona Central del Ecuador.....	311
6.6. Variables aplicando el Método de Curva logística de Crecimiento...	317
6.7. Densidad Telefónica Proyectado en la Zona Central del Ecuador.....	317
6.8. Proyección de Abonados para la Zona Central del Ecuador.....	319
6.9. Tráficos medios de la zona Central del Ecuador.....	325
6.10. Tráficos futuros de la Zona Central del Ecuador.....	326
6.11. Matriz de tráfico en Erlangs del año 2000.....	327
6.12. Matriz de tráfico en Erlangs proyectada al año 2005.....	327
6.13. Matriz de tráfico en Erlangs proyectada al año 2010.....	328
6.14. Matriz de tráfico en Erlangs proyectada al año 2015.....	328
6.15. Porcentajes de tráfico de Internet.....	332
6.16. Porcentajes de incremento en la matriz de tráfico por el uso de Internet.....	333
6.17. Matriz de tráfico en Erlangs considerando el aumento por Internet para el año 2005.....	334
6.18. Matriz de tráfico en Erlangs considerando el aumento por Internet para el año 2010.....	334

6.19. Matriz de tráfico en Erlangs considerando el aumento por Internet para el año 2015.....	335
6.20. Matriz de tráfico en E1´s con su distribución en la Zona Central del Ecuador para el año 2005.....	335
6.21. Matriz de tráfico en E1´s con su distribución en la Zona Central del Ecuador para el año 2010.....	336
6.22. Matriz de tráfico en E1´s con su distribución en la Zona Centra del Ecuador para el año 2015.....	336
6.23. Distribución de E1´s en la Zona Central del Ecuador.....	351
6.24. Distribución de canales para cada longitud de onda.....	352
6.25. Cálculo de Potencia de los Tramos de la Zona Central del Ecuador.....	375
6.26. Costo de Fibra Óptica.....	407
6.27. Costo de equipos en la Zona Central del Ecuador.....	410
6.28. Costo del entrenamiento del personal.....	410
6.29. Costo Total del Proyecto.....	411

## **CAPITULO I**

### **FUNDAMENTOS DE LAS REDES OPTICAS.**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN:**

El concepto de las comunicaciones por ondas luminosas ha sido conocido por muchos años, sin embargo no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico. Estos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente flexible y proveer así un análogo óptico de la señalización por alambres electrónicamente.

El problema técnico que se debía resolver para el avance de la fibra óptica residía en las fibras mismas, que absorbían luz que dificultaba el proceso, para la comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales luminosas detestables por muchos kilómetros. El vidrio ordinario tiene un haz luminoso de pocos metros. Se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario. En la actualidad se observa que las aplicaciones de la fibra óptica son mejores que en otros medios de transmisión; como se mencionará posteriormente.

## 1.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSMISIÓN

### 1.2.1. “EL MEDIO DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión es cualquier clase de material, el espacio libre o el vacío, que puede ser usado para la propagación de señales apropiadas, generalmente en la forma de ondas electromagnéticas (incluyendo las ondas luminosas), o de ondas acústicas, de un punto a otro. Los medios físicos de transmisión de datos se han diversificado de tal forma que existe una amplia variedad para poder diseñar e implementar todo tipo de redes al nivel de hardware, sean estas redes de alta velocidad, de baja velocidad , con UTP, con cable coaxial, fibra óptica , etc. Es conveniente conocer plenamente las características físicas de estos elementos con el objeto de poder elegir adecuadamente una determinada red, siempre con la firme seguridad de que no solamente podrá dar suficiente abasto para las demandas actuales de manipulación de información de la red, sino también para las futuras. Los medios de Transmisión se clasifican en:

-El **medio guiado**, incluidos el cable de hilos metálicos pareados (normalmente sin blindaje), el cable coaxial (con blindaje), las guías de onda y el cable de fibra óptica (inmune a interferencias), que forzan las ondas electromagnéticas dentro de los límites establecidos por su construcción física.

-El **medio no guiado**, en el que los efectos de los límites entre el espacio libre y el material permiten continuidad, tales como el espacio libre, el vapor y los gases.

La selección del medio de transmisión se basa en algunas variables, entre las cuales la más importante es la distancia entre los puntos entre los cuales se desea transmitir voz, datos y video de una manera confiable y con calidad.

Las redes de área local (LAN), pueden ser implementadas mediante cable tipo fibra óptica; para redes de área extendida (WAN) se puede utilizar cable de cobre o fibra óptica.

Para la comunicación entre ciudades, o entre países los medios capaces de proveer una comunicación de calidad, son los enlaces de microonda, los satélites y la fibra óptica.

Los enlaces satelitales, proveen grandes ventajas en cuanto a la gran cobertura que proveen que son muy convenientes para la difusión de Radio y Televisión. La fibra óptica brinda un enlace fijo y continuo entre el origen y el destino; en las ciudades, es común la utilización de cables de cobre para llegar al usuario, sin embargo, se tiende a reemplazar los cables grandes de pares de cobre como los de 1800 pares por cables de fibra óptica, lo cual proporciona ventajas como en el manejo propio del cable como peso, tamaño, velocidad de

transmisión y capacidad, la fibra óptica es muy recomendable para la conexión de la columna vertebral de las comunicaciones de una ciudad entre sus principales centrales telefónicas.

La tendencia global es que las comunicaciones que se encuentran en el aire bajen a la tierra mediante redes implantadas con fibra óptica, el impulso que se está dando a este tipo de redes, está haciendo que los costos que incluyen una red mediante fibra óptica disminuyan y hace a este medio de transmisión más competitivo.”<sup>1</sup>

### **1.3. FIBRA ÓPTICA**

La fibra es un hilo fino de vidrio o plástico, cuyo grosor puede asemejarse al de un cabello, capaz de conducir la luz por su interior. Generalmente esta luz es de tipo láser y no es visible al ojo humano. La modulación de esta luz permite transmitir información tal como lo hacen los medios eléctricos .

Esencialmente la transmisión digital a través de fibra óptica funciona de la siguiente manera: Una vez que se cuenta con la información ya digitalizada pasa por un proceso de transformación, en que las señales eléctricas se convierten en señales luminosas, mediante un dispositivo electrónico,

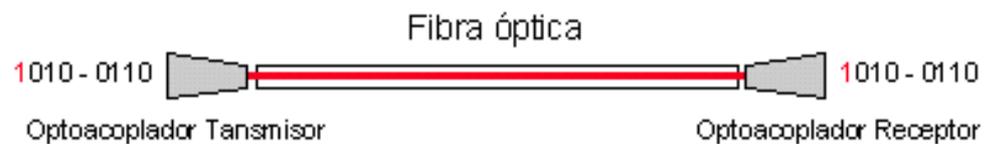
---

<sup>1</sup> Introducción a la fibra Óptica, Seminario de Graduación. Ing. Edwin Morales UTA 2003

denominado opto acoplador transmisor (led laser), el cual emite una señal luminosa de alta potencia cada vez que recibe una señal eléctrica equivalente a

1. Esta señal luminosa viaja a través de la fibra óptica hacia el receptor que, a su vez genera una señal eléctrica equivalente cada vez que capta dicha señal.

(Figura 1.1.).



**Figura. 1.1. Transmisión de la Fibra**

Este es el medio de transmisión de datos inmune a las interferencias por excelencia, con seguridad debido a que por su interior dejan de moverse impulsos eléctricos, proclives a los ruidos del entorno que alteren la información. Al conducir luz por su interior, **la fibra óptica no es propensa a ningún tipo de interferencia electromagnética o electrostática.**

#### **1.4. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:**

Entre las principales características que posee una fibra óptica se pueden mencionar las siguientes:

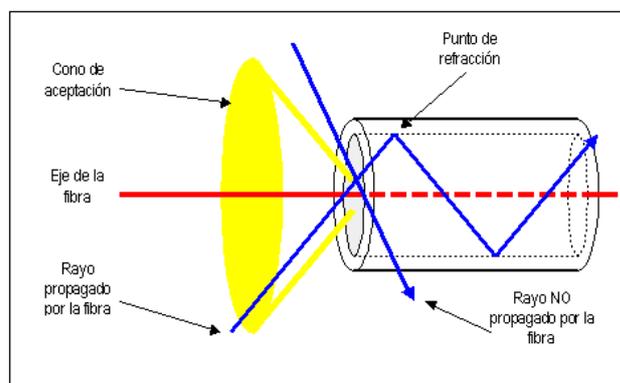
### 1.4.1. ESTRUCTURA

“La estructura de la fibra óptica es relativamente sencilla, aunque la mayor complejidad radica en su fabricación. La fibra óptica está compuesta por dos capas, una denominada Núcleo (Core) y la otra denominada Recubrimiento (Clad). La relación de diámetros es de aproximadamente 1 de recubrimiento por 3 de núcleo. Su espesor es extra delgado y el hilo de vidrio está cubierto por una capa plástica que le brinda la protección necesaria.”<sup>2</sup>

### 1.4.2. CONO DE ACEPTACIÓN

Los rayos de luz pueden entrar a la fibra óptica si el rayo se halla contenido dentro de un cierto ángulo denominado cono de aceptación. Un rayo de luz puede perfectamente no ser transportado por la fibra óptica si no cumple con el requisito del cono de aceptación. El cono de aceptación está directamente asociado a los materiales con los cuales la fibra óptica ha sido construida.

( Figura 1.2.)



**Figura 1.2. Cono de aceptación**

<sup>2</sup> [www.fibra-optica.org](http://www.fibra-optica.org)

### 1.4.3. LONGITUD DE ONDA

Lo que llamamos luz solo es una pequeña parte del espectro de la radiación electromagnética. La radiación electromagnética puede ordenarse en un espectro que va desde las ondas de frecuencia sumamente alta y longitud de onda corta a frecuencia sumamente baja y longitud de onda larga.

En un extremo del espectro se ubican las ondas de radio con billones de longitudes de onda más largos que aquellos de la luz visible. En el otro extremo del espectro están los rayos gamma que tienen millones de longitudes de onda más pequeño que aquellos de la luz visible. ( Figura 1.3.)

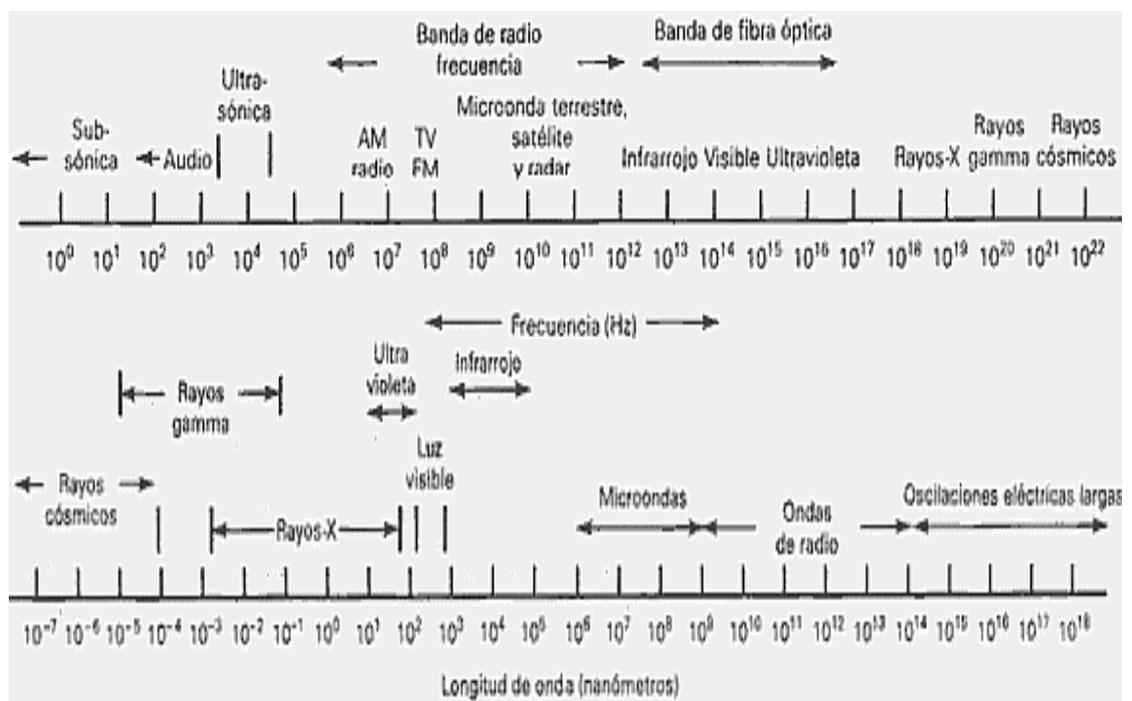


Figura. 1.3. Longitud de onda y frecuencia

La región óptica, donde la fibra óptica y los elementos ópticos trabajan incluye la luz visible al ojo humano que va desde las longitudes de ondas de los 400 a 700 nanómetros que están cercanos a la zona infrarroja y ultravioleta, que tienen propiedades similares.

En líneas generales estamos hablando de longitudes de onda que van desde los 200 a 20,000 nm (0.2-20mm). Las longitudes de onda normalmente usadas en comunicaciones en las fibras de silicio están entre los 700-1600 nm (0.7-1.6mm).

Todo rayo de luz se halla dentro de un espectro posible. El espectro incluye en la parte más izquierda, los rayos de luz de menor longitud de onda, pero que poseen más energía, denominados ultravioletas. En el otro extremo, se halla las luces de mayores longitudes de onda, pero que poseen menor energía, a las que se denomina infrarrojas.

Un intervalo relativamente pequeño de todo este espectro, que se halla entre los colores violeta y rojo, es el que el ojo humano puede apreciar. Son precisamente las luces que se hallan dentro del espectro correspondiente a los infrarrojos los que se emplean para transmitir información por el interior de las fibras ópticas. ( Figura 1.4.)

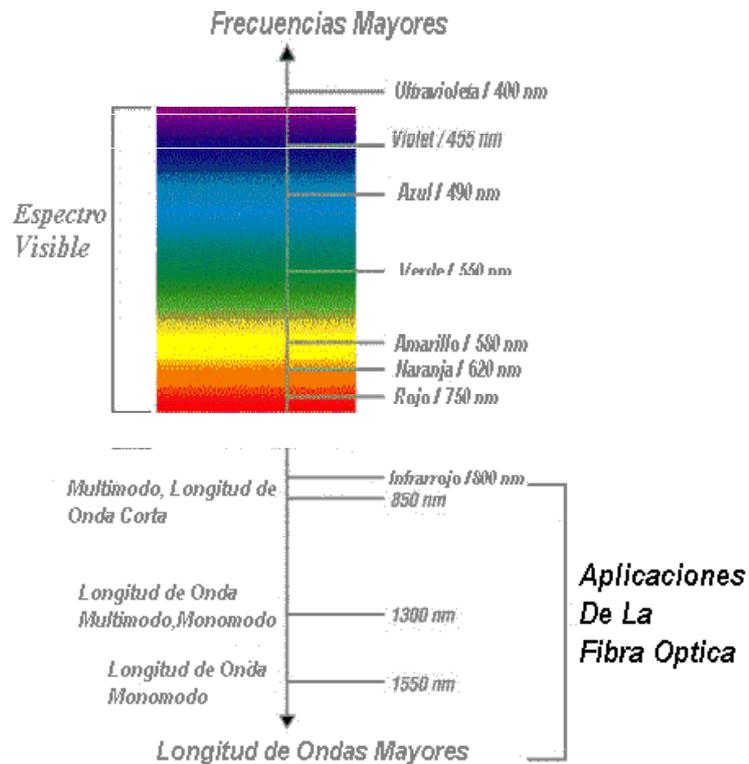
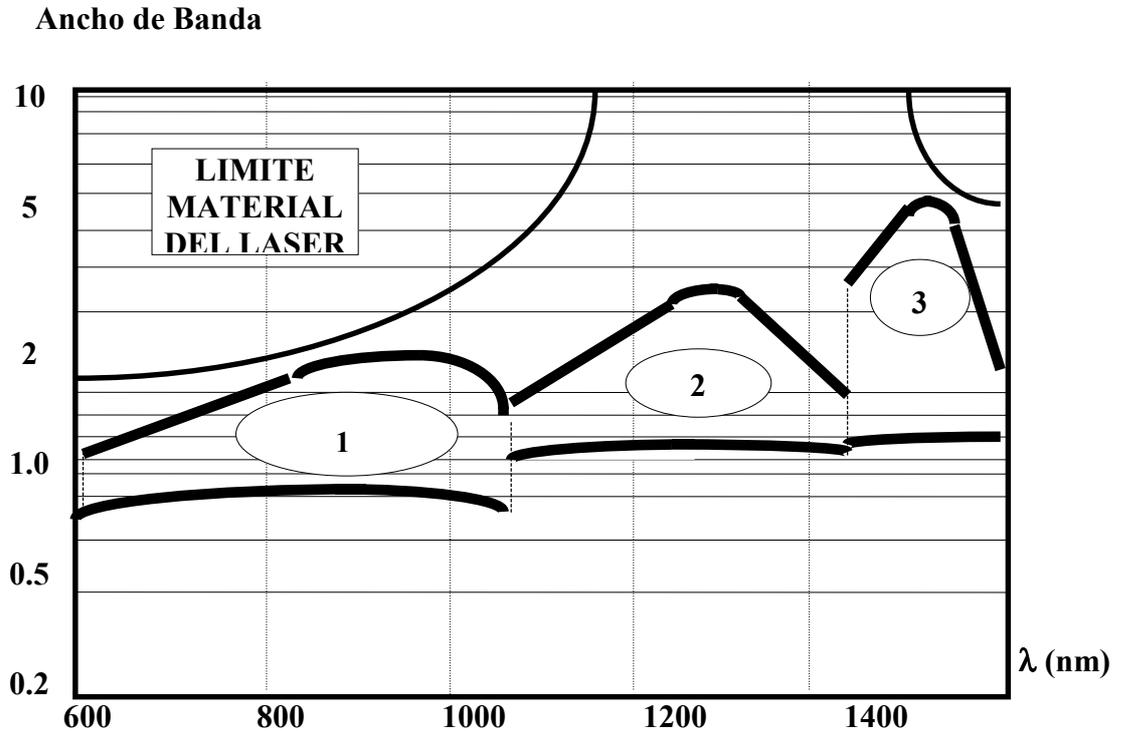


Figura 1.4. Aplicaciones de la Fibra Óptica

#### 1.4.4. "DEFINICIÓN DE LA VENTANA ÓPTICA Y DEL MODO DE TRANSMISIÓN.

Según las características de distancia, capacidad de ancho de banda y velocidad de transmisión, podemos escoger entre las tres ventanas ópticas siguientes: Primera ventana: 850 nm. Segunda ventana: 1300 nm. Tercera ventana: 1550 nm. (Figura.1.5. )



**Figura 1.5. Ventanas Ópticas y del Modo de Transmisión.**

Analizando la gráfica anterior, se puede caracterizar a la tercera ventana como la más adecuada para transmisión de señales de altas velocidades y de gran ancho de banda. Para determinar la relación del modo de transmisión con la capacidad de la ventana óptica, esto es, monomodo o multimodo, basta con recordar el problema de la dispersión del pulso que se presenta en los sistemas multimodo con mayor magnitud.

En resumen, la selección de la ventana óptica dependerá de la distancia a cubrirse, de la capacidad de ancho de banda requerida (voz, datos, video), y de la velocidad de transmisión que es consecuencia del ancho de banda. De igual

manera, el modo de transmisión dependerá de los parámetros indicados, teniendo en cuenta que mayores velocidades y anchos de banda se consiguen con fibras monomodo.

Adicionalmente a estos dos modos comunes de transmisión se ha desarrollado el monomodo con dispersión desplazada, con un núcleo doble (uno interno y otro externo separados por un revestimiento adicional), que permite conseguir un índice de refracción con una característica de dispersión doble de igual magnitud pero de signo contrario, que puede anular la dispersión cromática y los efectos negativos que limitan la velocidad de transmisión. Este tipo de diseño supera al índice de refracción con distribución gradual o escalonada (rampa) para la ventana de los 1550 nm, pero es altamente costoso.”<sup>3</sup>

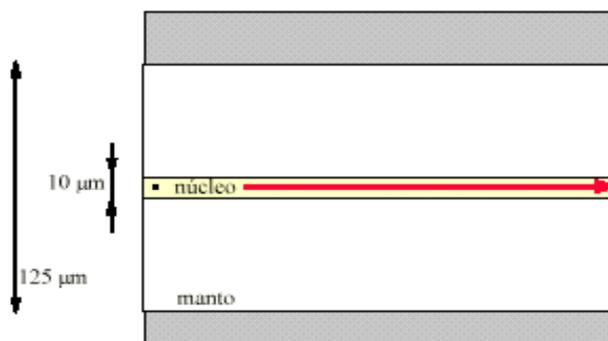
#### **1.4.5. MODOS DE TRANSMISIÓN.**

Las fibras ópticas se clasifican de acuerdo al modo de propagación que dentro de ellas describen los rayos de luz emitidos. En esta clasificación existen dos tipos.

**1.4.5.1.MONOMODO.**-En este tipo de fibra, los rayos de luz transmitidos por la fibra viajan linealmente. Este tipo de fibra se puede considera como el modelo más sencillo de fabricar, y sus aplicaciones son concretas. ( Figura 1.6.)

---

<sup>3</sup> Introducción a la fibra Óptica, Seminario de Graduación. Ing. Edwin Morales UTA 2003



**Figura 1.6. Fibra Óptica Monomodo**

#### **1.4.5.1.1. DISEÑOS DE FIBRA MONOMODO**

“Los diseños de la fibra monomodo han evolucionado a medida que pasan los años. Los tres principales tipos y sus especificaciones ITU-T son:

- NDSF (Non-Dispersion-Shifted Fiber), G 652
- DSF (Dispersion-Shifted Fiber), G 653
- NZ-DSF (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber), G 655

Como se ha explicado antes, hay cuatro ventanas dentro del espectro infrarrojo que ha sido explotado en la transmisión por fibra óptica. La primera ventana, cerca de los 850 nm, se usó casi exclusivamente para aplicaciones multimodo de distancias cortas. Las fibras NDSF, comunmente llamadas la fibra monomodo estándar, se diseñó para usarla en la segunda ventana, cerca de los 1310 nm.

Para optimizar el rendimiento de la fibra óptica en esta ventana, la fibra fue diseñada de forma que la dispersión cromática fuera cercana a cero para una longitud de onda de 1310 nm.

A medida que la fibra óptica se hacía más común y aumentaban las necesidades de una mayor ancho de banda y mayores distancias, se explotó una tercera ventana, cercana a los 1550 nm, en transmisión monomodo. La tercera ventana o banda C, ofreció dos ventajas: tenía mucha menos atenuación y su frecuencia de operación era la misma que la de los nuevos amplificadores dopados con erbio (EDFAs). Sin embargo sus características de dispersión lo limitan severamente.

Esto se solucionó con el uso de láseres de una banda más estrecha y más potentes. Pero debido a que la tercera ventana tiene menor atenuación que la ventana de 1310 nm, los fabricantes se han decantado por el tipo DSF, que desplaza el punto de dispersión cero a la región de los 1550 nm. Aunque ahora esta solución significa que la atenuación óptica menor y el punto de dispersión cero coinciden con la ventana de 1550 nm, resulta que hay no linealidades destructivas en la fibra óptica cerca del punto de distorsión cero y no hay compensación efectiva a ello. Por esta limitación, estas fibras no sirven para aplicaciones DWDM. “<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> [www.iec.org/online/tutorials/BroadBand Access.com](http://www.iec.org/online/tutorials/BroadBand%20Access.com)

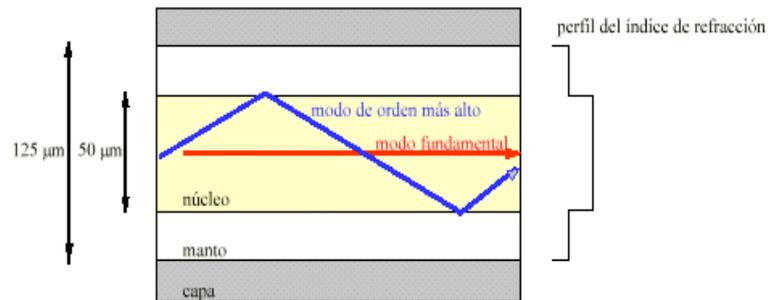
El tercer tipo, NZ-DSF, está diseñado específicamente para cubrir las necesidades de las aplicaciones DWDM. La dirección de este diseño es hacer la dispersión baja en la región de 1550 nm, pero no cero. Efectivamente esta estrategia introduce una cantidad controlada de dispersión, que cuenta los efectos no lineales tales como la mezcla de cuatro ondas que pueden perjudicar el rendimiento de los sistemas DWDM.

**1.4.5.2. MULTIMODO:-** Existen dos Tipos para este modo los cuales son Multimodo/Índice fijo y Multimodo/Índice Gradual.

**1.4.5.2.1. MULTIMODO INDICE GRADUAL.-**Este tipo de fibra son más costosas, y tienen una capacidad realmente amplia. La tecnología de fabricación de las mismas es realmente importante. Sus costos son elevados ya que el índice de refracción del núcleo varía de más alto, hacia más bajo en el recubrimiento. Este hecho produce un efecto espiral en todo rayo introducido en la fibra óptica, ya que todo rayo describe una forma helicoidal a medida que va avanzando por la fibra

**1.4.5.2.2. MULTIMODO INDICE FIJO.-** La producción de las mismas resulta adecuado en cuanto a tecnología y precio se refiere. No tiene una capacidad tan grande, pero la calidad final es alta. El índice de refracción del núcleo es

uniforme para toda la fibra, en realidad describe la forma general de la fibra óptica. ( Figura 1.7.)



**Figura. 1.7. Fibra Óptica Multimodo**

#### 1.4.6. ANCHO DE BANDA.

El ancho de banda de transmisión en las fibras monomodo es de hasta 100 GHz, y en las multimodo es de hasta 2 GHz.

#### 1.4.7. ATENUACIÓN.

“La transmisión de luz en una fibra óptica no es 100% eficiente. La pérdida de luz en la transmisión es llamada atenuación; en las fibras ópticas es **muy baja**, en la ventana de los 1300 nm (0,4 dB/km); y, mucho más baja en la ventana de los 1550 nm (0,25 dB/km). Lo cual permite transmitir señales a través de distancias del orden de los 100 km sin necesidad de amplificación (regeneración). Esta es la ventaja más importante en telecomunicaciones. Los cables metálicos coaxiales, que tienen una capacidad inferior de información

(menores anchos de banda) requerirían docenas de amplificadores para cubrir tales distancias (dependiendo de la tasa de transmisión).(Tabla 1.1)

Las fibras ópticas son muy atractivas porque combinan bajas pérdidas con gran ancho de banda, permiten la transmisión de señales de alta atenuación a través de distancias muy largas. <sup>5</sup>

Medio de Transmisión	Atenuación(db/Km)	Ancho de banda
<b>Fibra Monomodo</b>	0.25(1550nm)	10GHz*Km
<b>Fibra Multimodo</b>	0.50(1300nm)	1 GHz*Km 100MHz*Km
<b>Fibra Plástica</b>	200	10 MHz*Km
<b>Coaxial</b>	10 25-30	30MHz 500MHz
<b>TP/CATV</b>	260	100 MHz
<b>Aire</b>	1-10	300 MHz

Tabla. 1.1. Comparación de Medios

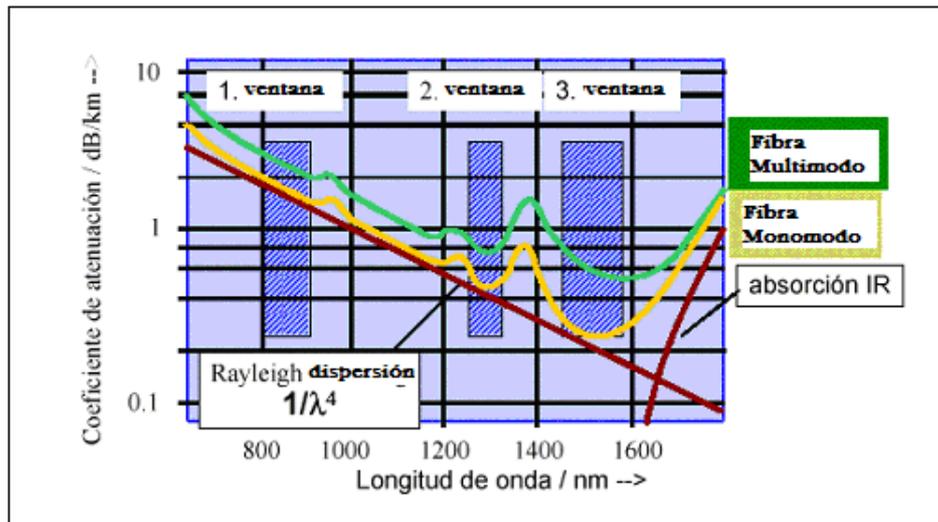


Figura. 1.8 Atenuación en función de longitud de onda

<sup>5</sup> Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Antonio Salavert. CISCO

Podemos observar en la Figura 1.8. la comparación entre la atenuación que sufren las fibras ópticas monomodo y multimodo, en las diferentes ventanas en las que se trabaja, y podemos observar que en cualquiera de los casos la atenuación que sufre una fibra monomodo es menor que la atenuación que sufre una fibra multimodo. Así mismo podemos observar que dentro de las ventanas ópticas la atenuación disminuye, con respecto a los demás rangos de frecuencias (longitud de onda).

#### 1.4.8. APERTURA NUMÉRICA

“La apertura numérica es un parámetro óptico que indica el ángulo de aceptación de luz de la fibra. Como en cierta forma el ángulo de incidencia tiene algo que ver con los modos transmitidos en la fibra, una mayor apertura numérica implica que se acoplarán una mayor cantidad de modos en la fibra y por lo tanto una mayor fracción de la energía incidente quedará confinada.

La apertura numérica se define como :

$$AN = n_0 \cdot \text{sen } \alpha_{0L}$$

Siendo  $n_0$  el índice de refracción del medio circundante y  $\alpha_{0L}$  el máximo ángulo de entrada aceptado por la fibra, que viene dado por la ley de Snell.

Intuitivamente se puede argumentar que los rayos que incidan con un ángulo demasiado perpendicular a la interface entre núcleo y cubierta escapan del confinamiento al no cumplir la condición de reflexión total. De hecho la cantidad de potencia óptica aceptada por una fibra varía con el cuadrado de su apertura numérica. Es interesante notar que no depende de ninguna dimensión física de la fibra.”<sup>6</sup>

#### 1.4.9. DISPERSIÓN.

“La dispersión es la distorsión de la señal, resultante de los distintos modos (simple y multimodo), debido a los diferentes tiempos de desplazamiento de una señal a través de la fibra; no hay pérdida de potencia en la dispersión, pero se reduce la potencia pico de la señal. La dispersión se aplica tanto a señales analógicas como digitales; es normalmente especificada en nanosegundos por kilómetro.



Figura. 1.9. Dispersión en una fibra óptica

<sup>6</sup> [www.mailweb.udlap.mx/lgojeda/telecom3/fibra\\_optica/propiedadesfo.htm](http://www.mailweb.udlap.mx/lgojeda/telecom3/fibra_optica/propiedadesfo.htm)

La dispersión de energía óptica se puede clasificar en dos categorías: la dispersión modal y la Dispersión espectral.

**1.4.9.1.DISPERSIÓN MODAL:** La luz viaja en trayectorias diferentes para cada modo en una fibra. Cada ruta varia la longitud óptica de la fibra para cada modo. En un cable largo, el estiramiento y sumatoria de todos los modos de la fibra tienen un efecto "de longitud" sobre el pulso óptico. La dispersión modal puede ser minimizada reduciendo el ancho del espectro de la fuente óptica.

**1.4.9.2.DISPERSIÓN ESPECTRAL:** El índice refractivo es inversamente proporcional a la velocidad de la luz que viaja en un medio y su velocidad varia con respecto a su longitud de onda. Sin embargo si dos rayos tienen diferentes longitudes de onda son enviados simultáneamente sobre la misma trayectoria, estos arribarán ligeramente a diferentes tiempos; esto causa los mismos efectos de la dispersión modal, ensanchando el pulso óptico. <sup>7</sup>

## **1.5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

“La fibra óptica está compuesta por una región cilíndrica, por la cual se efectúa la propagación, denominada núcleo y de una zona externa al núcleo y coaxial con él, totalmente necesaria para que se produzca el mecanismo de propagación, y que se denomina envoltura o revestimiento.

---

<sup>7</sup> Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Antonio Salavert. CISCO

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

- a) Del diseño geométrico de la fibra.
- b) De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración. (diseño óptico)
- c) De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.”<sup>8</sup>



**Figura. 1.10. Características Técnicas en una fibra óptica**

Un cable de 10 fibras tiene un diámetro aproximado de 8 o 10 mm. y proporciona la misma o más información que un coaxial de 10 tubos.

El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de los cables metálicos, redundando en su facilidad de instalación.

<sup>8</sup> [www.monografia.com/trabajos/fibraoptica/fo/htm](http://www.monografia.com/trabajos/fibraoptica/fo/htm)

El sílice tiene un amplio margen de funcionamiento en lo referente a temperatura, pues se funde a 600C. La Fibra Óptica, presenta un funcionamiento uniforme desde -550 C a +125C sin degradación de sus características.

### **1.6. CARACTERISTICAS MECANICAS**

La Fibra Óptica como elemento resistente dispuesto en el interior de un cable formado por agregación de varias de ellas, no tiene características adecuadas de tracción que permitan su utilización directa. Por otra parte, en la mayoría de los casos las instalaciones se encuentran a la intemperie o en ambientes agresivos que pueden afectar al núcleo.

Es necesario disponer de cubiertas y protecciones de calidad capaces de proteger a la fibra. Para alcanzar tal objetivo hay que tener en cuenta su sensibilidad a la curvatura y microcurvatura, la resistencia mecánica y las características de envejecimiento.

“Las microcurvaturas y tensiones se determinan por medio de los ensayos de:

**a)Tensión:** cuando se estira o contrae el cable se pueden causar fuerzas que rebasen el porcentaje de elasticidad de la fibra óptica y se rompa o formen microcurvaturas.

**b)Compresión:** es el esfuerzo transversal.

**c)Impacto:** se debe principalmente a las protecciones del cable óptico.

**d)Enrollamiento:** existe siempre un límite para el ángulo de curvatura pero, la existencia del forro impide que se sobrepase.

**e)Torsión:** es el esfuerzo lateral y de tracción. <sup>9</sup>

### **1.6.1.CURVADO**

El curvado de una fibra óptica es causado en la manufactura del cable, así como también por dobleces durante la instalación y variación en los materiales del cable debidos a cambios de temperatura. Los esfuerzos que provoca la torcedura de las fibras son básicamente una fuerza transversal y un esfuerzo longitudinal. El esfuerzo longitudinal no provoca torcedura cuando trabaja para alargar la fibra, no hay cambio en las perdidas ópticas. Sin embargo, cuando trabaja para contraer a la fibra, este esfuerzo provoca que la fibra forme bucles y se curve, de tal manera que la perdida óptica se incrementa. Por lo tanto, al evaluar los diseños de los cables se debe poner especial atención.

---

<sup>9</sup> [www.monografia.com/trabajos/fibraoptica/fo/htm](http://www.monografia.com/trabajos/fibraoptica/fo/htm)

### **1.6.2.MICROCURVATURAS**

Fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra dan origen a lo que se conoce como microcurvaturas. El fenómeno puede ser provocado por esfuerzos durante la manufactura e instalación y también por variaciones dimensionales de los materiales del cable debidos a cambios de temperatura. La sensibilidad a la microcurvaturas es función de la diferencia del índice de refracción, así como también de los diámetros del núcleo y del revestimiento. Es evidente que la microcurvaturas incrementan las perdidas ópticas.

### **1.7.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LA FIBRA ÓPTICA:**

“La fibra óptica por sus características nos brinda una variedad de ventajas entre las cuales podemos enumerar las siguientes:

1. Proporciona Mayor capacidad debido al ancho de banda mayor disponible en frecuencias ópticas a grandes distancias.
2. Por su naturaleza es inmune a transmisiones cruzadas entre cables, causadas por inducción magnéticas y a la diafonía, es decir no necesita blindaje. Por lo tanto transmite señales de Calidad.
3. Su tamaño y flexibilidad proporcionan gran versatilidad en la construcción de redes basadas en Fibra Óptica.
4. La fibra óptica transmite señales luminosas, y no señales eléctricas lo cual se traduce en un aislamiento eléctrico, que nos permite prescindir de una tierra común.

5. La atenuación en la fibra es muy baja, lo que nos permite grandes distancias entre repetidores.
6. Las Fibras ópticas son atractivas por que combinan baja atenuación con gran ancho de banda, por eso son ideales para transmitir señales a alta velocidad y a grandes distancias.
7. La fibra óptica es inmune a interferencia estática debida a las fuentes de ruido.
8. La fibra óptica es resistente a ambientes extremos; son menos afectadas por líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura.
9. La seguridad en cuanto a instalación y mantenimiento. Las fibras de vidrio y los plásticos no son conductores de electricidad, se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles.

#### **1.7.1. DESVENTAJAS:**

1. Necesidad de especializar al personal encargado de realizar las soldaduras y empalmes.
2. El coste es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en megabytes.
3. El coste de instalación es elevado.
4. Fragilidad de las fibras.
5. Disponibilidad limitada de conectores.

6. Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.”<sup>10</sup>

### **1.8. APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA**

Por las ventajas que presenta la Fibra óptica se le a dado un sin numero de aplicaciones, entre las cuales podemos nombrar las siguientes:

1. “Telecomunicaciones de larga distancia, un claro ejemplo son los cables submarinos.
2. La implantación de redes troncales, intercentrales tanto urbanas como interurbanas.
3. Operación y redes LAN de alta velocidad .
4. Transmisión en ambientes difíciles y ruidosos.
5. Sistemas de transporte de señales de televisión por cable (CATV) entre los receptores de microondas y los equipos de control (cabezas terminales), y para la distribución de las señales de video desde las cabezas terminales a los condominios.
6. Conexiones entre la red telefónica y las antenas de los servicios telefónicos móviles y celulares.
7. Cables para equipos remotos de recopilación de noticias.
8. Enlaces entre computadoras y terminales de video de alta resolución usados para propósitos tales como CAD/CAM (diseño y manufactura asistida por computadora).

---

<sup>10</sup> Introducción a la fibra Óptica, Seminario de Graduación. Ing. Edwin Morales UTA 2003

9. Interconexiones de alta velocidad entre computadoras y equipos periféricos, o entre computadoras, o aún dentro de segmentos de una computadora grande.
10. Transmisión de velocidad moderada de datos de computadora en lugares donde la fibra es más económica de instalar.
11. Equipos de comunicaciones portátiles para usos militares o de campaña.
12. Transmisión de señales dentro de vehículos, barcos, aviones, etc.
13. Transmisión de señales en equipos de tratamiento de imágenes y DSP (Procesamiento digitales de imágenes), tales como radares, sensores remotos, etc.”<sup>11</sup>

## **1.9.TENDIDOS Y UNIONES DE FIBRAS OPTICAS**

En los sistemas de comunicaciones por fibras hay factores que limitan la velocidad de funcionamiento y la distancia entre los equipos terminales. Si la longitud del sistema es superior a la longitud de las bobinas de cable de fibra es necesario realizar un empalme de fibras y sus cubiertas. La unión entre los cables exteriores y los equipos terminales o intermedios debe hacerse mediante conexiones desmontables llamadas conectores.

### **1.9.1.TÉCNICAS DE TENDIDO.**

---

<sup>11</sup> Introducción a la fibra Óptica, Seminario de Graduación. Ing. Edwin Morales UTA 2003

Se pueden realizar instalaciones aéreas, subterráneas y subacuáticas para conectar edificios o incluso ciudades a través de un cable de fibra óptica.

En este punto no se darán los procedimientos detallados de la colocación de los cables de fibras ópticas, pero se discutirán las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de instalación. Los métodos de instalación son :

#### **1.9.1.1.TENDIDOS AEREOS**

Es la forma más económica de instalación. Sin embargo, el costo de mantenimiento puede llegar a anular esta ventaja inicial. Colocar la fibra en los postes telefónicos la hace muy vulnerable a las condiciones climáticas extremas o a cualquier accidente de tráfico. En lugares con inestabilidad política (huelgas o manifestaciones de protesta), se deben evitar los cables aéreos ya que pueden ser deliberadamente sabotados. Un tipo de instalación aérea muy segura sería usar las torres de distribución de alta tensión para suspender el cable, lo cual reduciría cualquier riesgo de sabotaje pero tendría mucho peligro para el personal de instalación y mantenimiento.

#### **1.9.1.2.TENDIDOS SUBACUÁTICOS**

Para este tipo de tendidos de cable de fibra óptica se deberá considerar algunos puntos para realizar la instalación:

-Se tiene que disponer de cables especialmente diseñados para este uso, los cuales tienen protecciones especiales en contra de los efectos corrosivos del agua.

-Evitar empalmes bajo el agua.

-Depositar el cable en el lecho acuático de modo que penetre en el fondo.

Los tendidos submarinos tienen su propia técnica, solo aplicable a ellos y depende de las características especiales del fondo marino, tanto en lo relativo a los requerimientos mecánicos como a la agresividad del medio, determinada por sus propiedades químicas.

En la actualidad se encuentran instalados o en proceso una gran cantidad de enlaces mediante fibra óptica de este tipo, con la finalidad de efectuar enlaces de gran longitud.

### **1.9.1.3.TENDIDOS SUBTERRÁNEOS.**

Es más segura que la instalación aérea, ya que elimina la mayoría de los problemas de la red aérea. Sin embargo, algunas regiones son demasiado rocosas y elevarían el costo de excavación para la colocación de los ductos, además del costo de los pozos de revisión y de los mismos ductos. En las ciudades con alto índice de crecimiento, como Quito, Guayaquil y Cuenca, la mayoría de los ductos subterráneos están totalmente copados, y en esos casos podría ser muy caro y complicado poner más ductos.

En conclusión, si las condiciones son favorables, y los costos de instalación no son tan críticos, por seguridad y para evitar altos costos de mantenimiento posteriores, es mucho más conveniente utilizar rutas subterráneas usando canalizaciones instaladas de acuerdo con las recomendaciones que rigen en Andinatel para planta externa subterránea.

### **1.9.2. TÉCNICAS DE EMPALME DE FIBRAS**

“Son interconexiones permanentes entre fibras. En este caso, los núcleos de las fibras que se unan deben estar perfectamente alineados a fin de que no se produzca ninguna pérdida. Dentro de los empalmes, existen dos formas de los mismos. Los primeros son los *empalmes por fusión*, en la cual las dos fibras ópticas son calentadas hasta obtener el punto de fusión, y ambas quedan unidas. Este método siempre tiene una ligera pérdida.”<sup>12</sup>

El segundo tipo es el empalme mecánico, en el cual, por elementos de sujeción mecánicos, las puntas adecuadamente cortadas de las fibras se unen, permitiendo el pasaje de la luz de una fibra a otras. La pérdida de información en este segundo caso, es ligeramente mayor al primer caso, de 0.5dB.

---

<sup>12</sup> [www.unp.edu.pe/ingindustrial/dainfo/seminario/finraoptica02.html](http://www.unp.edu.pe/ingindustrial/dainfo/seminario/finraoptica02.html)

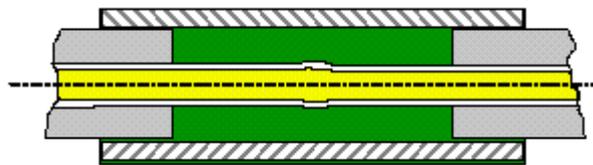
Los empalmes causan pérdidas menores que los conectores y unen permanentemente a los cables de fibra. Se deben usar en lugares donde no se requerirán cambios posteriores. Los empalmes se incorporan en la unión de largos tramos de cables, o en cajas de empalme que pueden ir dentro o fuera de las edificaciones. Los conectores se usan más en cajas o paneles de conexión y en equipos de prueba o interfaces de cable. La decisión entre los empalmes y los conectores no es tan simple; depende de las ventajas que puede brindar cada uno de ellos. Un resumen de estas ventajas se muestra en la Tabla 1.2.

<b>Conectores</b>	<b>Empalmes</b>
No permanentes Simple de usar una vez instalado Instalables en los cables (fábrica) Permiten una fácil reconfiguración Proveen interfaces estandarizados Más compactos	Permanentes Baja atenuación Bajo retorno de reflexión Fácil sellado hermético Más económicos

**Tabla 1.2. Comparación de las Ventajas entre Conectores y Empalmes**

**1.9.2.1. EMPALMES DE FUSIÓN:** se realizan colocando los extremos de las dos fibras juntas y alineadas, para calentarlas y fundirlas mediante un arco que produce una temperatura elevada del orden de los 2000 grados centígrados, durante 2 ó 3 segundos. Los empalmadores tienen que verificar la calidad de su empalme por fusión usando instrumentos para verificar el alineamiento, el

corte y pulimento de los extremos de las fibras. Un microscopio ó una cámara de video, un generador de señal (luz) y un medidor de potencia óptica deben ser utilizados para verificar visualmente el alineamiento y la respuesta del empalme terminado. Las pérdidas típicas de los empalmes están en el orden de los 0,05 a los 0,2 dB. (Figura 1.11.)



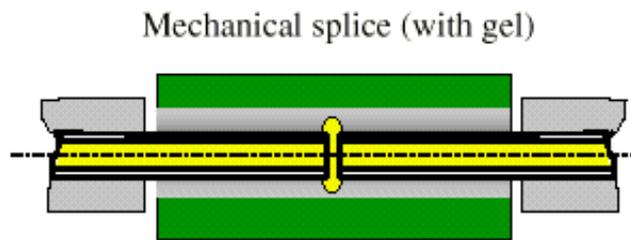
**Figura 1.11. Empalme por Fusión**

**1.9.2.2.EMPALMES MECÁNICOS:** unen los extremos de las dos fibras dentro de una estructura, mediante una abrazadera, o con pegamento. La pequeña tolerancia en las fibras monomodo al espaciamiento entre las fibras, demanda un mecanismo más preciso y costoso.

En general, los empalmes mecánicos requieren de una inversión menor que para los empalmes por fusión. En empresas que no tienen un alto requerimiento de empalmes, que justifique la inversión del equipo de fusión, se usan más los mecánicos.

Tienen una mayor pérdida que los de fusión, sin embargo, la diferencia no es tan dramática para longitudes cortas. El retorno de reflexiones ocurre más en los empalmes mecánicos, pero pueden ser reducidos usando materiales

epóxicos para conectar las fibras, o inyectando dentro del empalme un fluido o gel que tenga un índice de refracción muy cercano al del núcleo de las fibras. Este gel de acoplamiento de índices suprime las reflexiones que pueden ocurrir en el interface con el aire y el núcleo. ( Figura 1.12.)



**Figura 1.12. Empalme mecánico con gel**

### **1.9.3. CONECTORES**

“Son conexiones temporales de fibras ópticas. Este sistema debe tener una precisión grande para evitar la atenuación de la luz. El término conector tiene un especial significado, ya que puede ser conectado o desconectado repetidamente con otros elementos similares para transferir luz entre dos terminales de fibra, entre el terminal de una fibra y un transmisor o un receptor. El conector está montado en un terminal de cable o en un dispositivo óptico. (Figura 1.13.)”<sup>13</sup>

<sup>13</sup> [www.monografias.com/trabajos/fibraoptica/fo.htm](http://www.monografias.com/trabajos/fibraoptica/fo.htm)

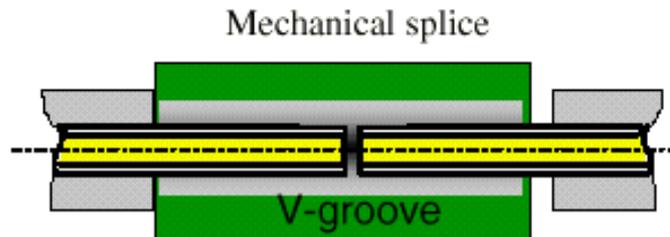


Figura. 1.13. Conector Mecánico

Los conectores deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Debe tener una pérdida de inserción baja y ser insensible a los cambios de temperatura.
- Debe tener una pérdida de retorno alta.
- Debe poder conectarse y desconectarse hasta 1000 veces sin causar degradación en la transmisión.
- Debe proveer protección contra humedad y polvo.
- Debe resistir tensiones.

#### 1.9.3.1. CONSTRUCCIÓN DE UN CONECTOR.

En un conector las fibras se encuentran pegadas en una especie de enchufes llamados virolas, que poseen un orificio central de gran exactitud, en el orden de los micrómetros, la virola hace parte del conector macho.

La hembra contiene un elemento de alineación el que con elementos de precisión coloca las virolas de los machos y así las fibras frente a frente. Un

resorte en el macho hace que las virolas se empujen con una cierta fuerza, lo que asegura que no haya separación entre las dos fibras. ( Figura 1.14.)

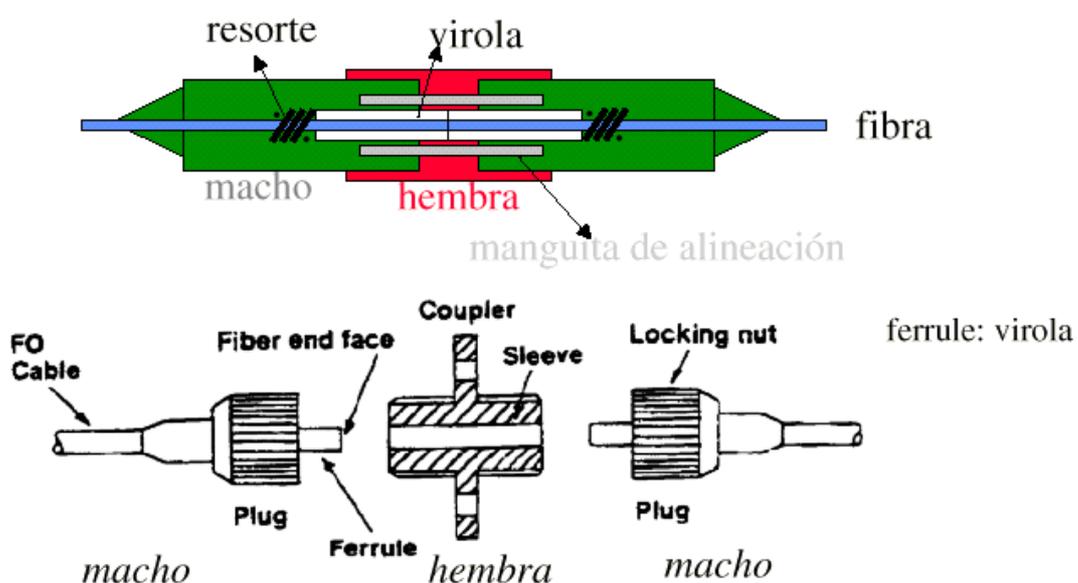


Figura. 1.14. Estructura del Conector

### 1.9.3.2. CONECTORES MAS UTILIZADOS.

a) **Conector FC:** Se utiliza mas en laboratorios y en equipo especializado, se atornilla en el adaptador, es decir que así la fuerza y el comportamiento óptico, es dependiente del instalador. Al insertar el eje de la virola debe estar en línea con el eje del manguito de la hembra sino se puede dañar la virola.(Figura 1.15.)

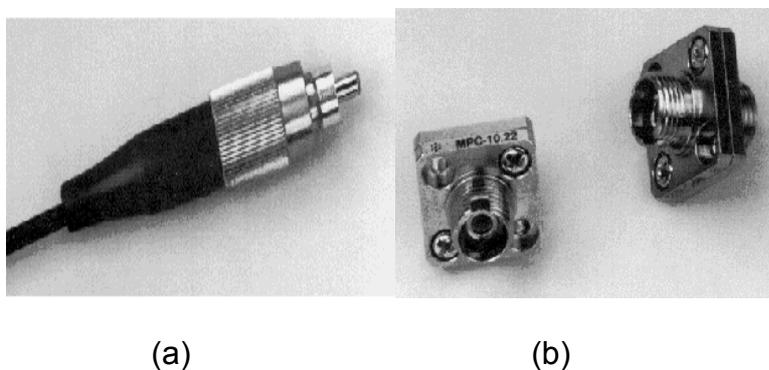


Figura. 1.15. Conector FC (a) Macho (b) Hembra

**b) Conector ST:** Es muy utilizado en redes LAN, se instala empujando y girando 90 grados, la instalación no depende del instalador; al insertar el eje de la virola y el eje del manguito deben estar en línea para evitar que se dañe la virola. ( Figura 1.16.)

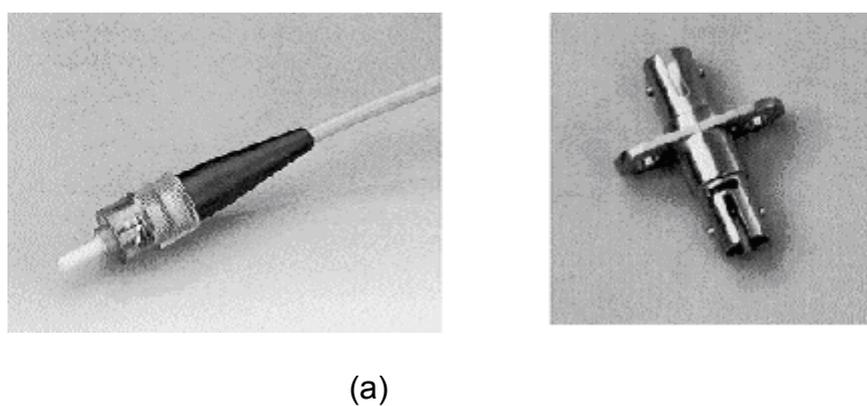
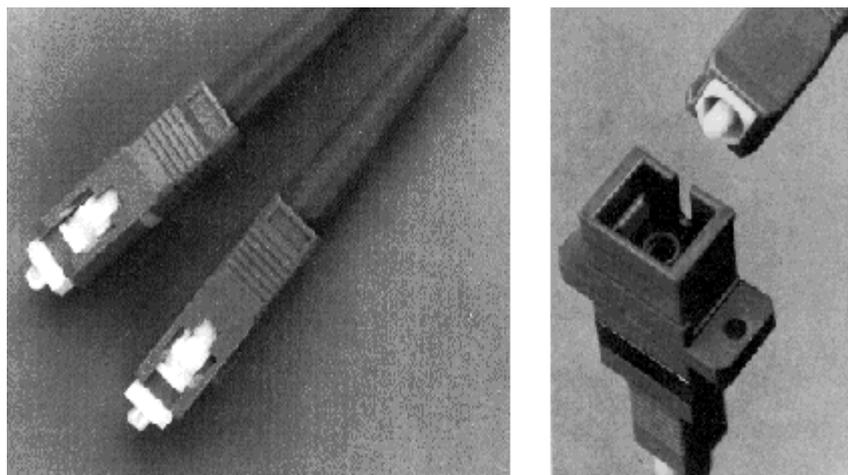


Figura. 1.16. Conector ST (a) Macho (b) Hembra

**c) Conector SC:** es utilizado más en Europa y en Estados Unidos especialmente en patch panels, ya que posibilita una alta densidad de

conectores ya que no necesita espacio para girar el conector; tiene un comportamiento óptico muy estable se puede conectar y reconectar muchas veces. ( Figura 1.17.)

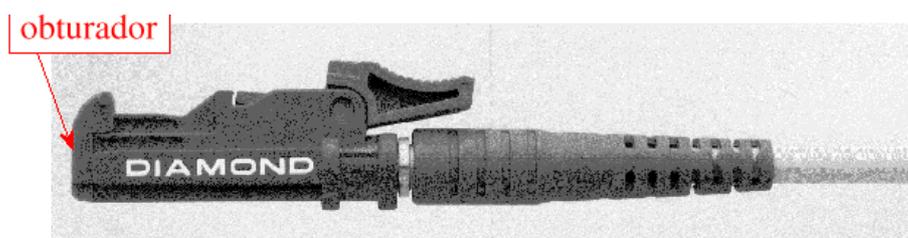


(a)

(b)

**Figura. 1.17. Conector SC (a) Macho (b) Hembra**

**d) Conector Europa 2000:** es un conector relativamente nuevo, es un conector push – pull, con características similares a un conector SC, y además posee un obturador para impedir que la luz laser pueda llegar al ojo, su costo es mas elevado que los anteriores. ( Figura 1.18)



**Figura 1.18. Conector Europa 2000**

## **1.10. FUNDAMENTOS DE LAS REDES DE COMUNICACIONES.**

### **1.10.1. INTRODUCCIÓN.**

La comunicación entre computadoras surgió con el nacimiento de las mismas, por la gran necesidad de compartir información y recursos de una computadora a otra.

En la actualidad la posesión y el uso de la información ha alcanzado otros niveles de importancia en las organizaciones, razón por la cual se han desarrollado nuevas tecnologías de informática, en las cuales los datos de un proceso son obtenidos de diferentes orígenes.

En ocasiones la información se produce en un lugar y su tratamiento se lleva a cabo en otro sitio muy distante.

Las redes de computadoras permiten conectar a distancia: computadoras, terminales y otros equipos. Para ello necesitamos usar un medio adecuado de comunicación, por ejemplo: una línea telefónica, cables coaxiales, microondas, satélites, etc.

Cuando trabajamos con equipos interconectados podemos obtener cualquier información con rapidez y fiabilidad en diferentes sitios y a grandes distancias.

## **1.10.2. TIPOS DE REDES.**

### **1.10.2.1. REDES DE CORTA DISTANCIA (LAN)**

Una LAN conecta varios dispositivos de red en una área de corta distancia (decenas de metros) delimitadas únicamente por la distancia de propagación del medio de transmisión [coaxial (hasta 500 metros), par trenzado (hasta 90 metros) o fibra óptica [decenas de metros], espectro disperso o infrarrojo [decenas de metros]).

LAN podría estar delimitada también por el espacio en un edificio, un salón, una oficina, hogar...pero a su vez podría haber varias LANs en estos mismo espacios. Las LAN comúnmente utilizan las tecnologías Ethernet, Token Ring, FDDI (Fiber Distributed Data Interface) para conectividad, así como otros protocolos tales como Appletalk, Banyan Vines, DECnet, IPX, etc.

### **1.10.2.2. REDES DE LARGA DISTANCIA (WAN)**

Una WAN es una colección de LANs dispersadas geográficamente cientos de kilómetros una de otra. Un dispositivo de red llamado enrutador es capaz de conectar LANs a una WAN. Las WAN utilizan comúnmente tecnologías ATM (Asynchronous Transfer Mode), Frame Relay, X.25, E1/T1, GSM, TDMA, CDMA, xDSL, PPP, etc. para conectividad a través de medios de comunicación tales como fibra óptica, microondas, celular y vía satélite.

### **1.10.2.3. REDES DE ÁREA EXTENSA (MAN.)**

Una MAN es una colección de LANs dispersas en una ciudad (decenas de kilómetros). Una MAN utiliza tecnologías tales como ATM, Frame Relay, xDSL (Digital Subscriber Line), WDM (Wavelength Division Modulation), ISDN, E1/T1, PPP, etc. para conectividad a través de medios de comunicación tales como cobre, fibra óptica, y microondas.

### **1.10.2.4. REDES DE ACCESO.**

La Red de Acceso abarca los elementos tecnológicos que soportan los enlaces de telecomunicaciones entre los usuarios finales y el último nodo de la red. A menudo se denomina lazo de abonado o simplemente la última milla. Sus principales componentes son: los medios de comunicación (par de cobre, cable coaxial, fibra óptica, canal radioeléctrico) y los elementos que realizan la adecuación de la señal a los mismos.

Específicamente se abordan las tecnologías ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica), VDSL (Línea de Abonado Digital de Muy Alta Velocidad) y ATMPON (Redes Ópticas Pasivas ATM).



Figura 1.19. Red de Acceso.

#### 1.10.2.5. REDES DE TRANSPORTE.

Las redes de transporte juegan un papel muy importante en las telecomunicaciones de la actualidad, son las encargadas del envío y multicanalización de diversos tipos de información en diferentes formatos tanto analógicos como digitales. Su evolución ha sido gradual, desde las primeras redes analógicas, las digitales, hasta las redes ópticas. Así tenemos las redes como E1/T1 y ISDN basadas en líneas de cobre, así como las redes de transporte basadas en fibras ópticas como ATM, B-ISDN o SONET/SDH.

#### 1.10.2.6. REDES DE CONMUTACIÓN.

Son redes en las que los centros de conmutación establecen un circuito dedicado entre dos estaciones que se comunican; cuando los datos hay que enviarlos a largas distancias generalmente deben pasar por varios nodos intermedios. Estos nodos son los encargados de encauzar los datos para que lleguen a su destino .

En conmutación de circuitos , los nodos intermedios no tratan los datos de ninguna forma , sólo se encargan de encaminarlos a su destino .

En redes de comunicación conmutadas , los datos que entren en la red provenientes de alguna de las estaciones , son conmutados de nodo en nodo hasta que lleguen a su destino; los enlaces entre nodos están multiplexados en el tiempo o por división de frecuencias .

Generalmente hay más de un camino entre dos estaciones , para así poder desviar los datos por el camino menos colapsado .

#### **1.10.2.7. REDES INALÁMBRICAS.**

Las Redes Inalámbricas facilitan la operación en lugares donde la computadora no puede permanecer en un solo lugar, como en almacenes o en oficinas que se encuentren en varios pisos; también es útil para hacer posibles sistemas basados en plumas No se espera que las redes inalámbricas lleguen a remplazar a las redes cableadas. Estas ofrecen velocidades de transmisión mayores que las logradas con la tecnología inalámbrica. Mientras que las redes inalámbricas actuales ofrecen velocidades de 2 Mbps, las redes cableadas ofrecen velocidades de 10 Mbps y se espera que alcancen velocidades de hasta 100 Mbps. Los sistemas de Cable de Fibra Optica logran velocidades

aún mayores, y pensando futuristamente se espera que las redes inalámbricas alcancen velocidades de solo 10 Mbps.

#### **1.10.2.8. REDES FIJAS.**

Las redes fijas o como se conocen sistemas telefónicos se basa en el uso de centrales para conmutar las llamadas entre diversos abonados, y pares de hilos de cobre para unir a cada abonado con la central. Los bucles de abonado suelen ser pares de cobre trenzados; las líneas troncales típicamente utilizan cable coaxial, microondas, fibra óptica o enlaces vía satélite, el ancho de banda de una conversación telefónica es de 3,1 KHz, ya que el rango de frecuencias transmitido en una conversación telefónica es de 300 a 3.400 Hz.

#### **1.10.2.9. REDES MOVILES.**

Redes Telefónicas Celulares o Móviles, fueron diseñados para conectar a los usuarios de radio o de teléfonos móviles unos con otros y con la red telefónica pública conmutada ; son un medio para transmitir información de alto precio, debido a que los módems celulares actualmente son más caros y delicados que los convencionales, ya que requieren circuiteria especial, que permite mantener la pérdida de señal cuando el circuito se alterna entre una célula y otra. Conllevan al uso sobre GPRS, EDGE, UMTS y HSDPA; todas las aplicaciones ring tones, juegos, video, y música, eventualmente se encontrarán en un celular.

#### **1.10.2.10. REDES SAN (Storage Area Network)**

“Las SAN (Storage Area Network) representan el último paso en la evolución del almacenamiento masivo de datos en las empresas. En los entornos de host, el almacenamiento como aplicación, estaba centralizado y gestionado centralmente.

Con los entornos cliente/servidor, la información que previamente estaba centralizada, se distribuyó por la red. Los problemas de gestión creados con la descentralización apuntan a dos direcciones básicas: la NAS (Network Attached Storage) donde los dispositivos de almacenamiento están directamente conectados a la LAN, y las SAN. Compuesto de servidores, dispositivos de almacenamiento (cintas y conjuntos de discos) y dispositivos de red (multiplexores, concentradores, enrutadores, conmutadores, etc.), una SAN consta de una red aparte de la LAN.

Como red aparte, la SAN puede resolver los cuellos de botella de la LAN empleando los recursos para aplicaciones tales como mirroring, procesamiento de transacciones, copias de seguridad y su recuperación.”<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Introducción al WDM CISCO de Antonio Salavert.

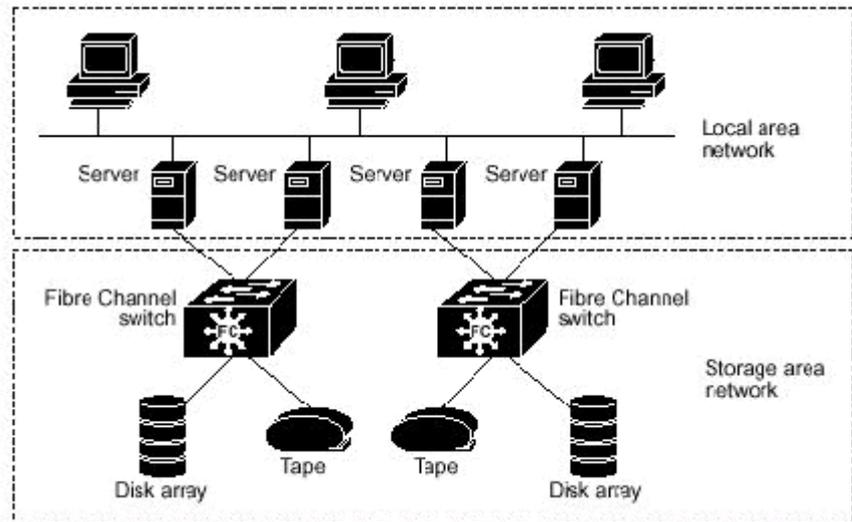


Figura 1.20. Arquitectura SAN

## 1.11.TECNOLOGÍAS DE MULTIPLEXACIÓN

### 1.11.1. TDM. (Time División Multiplexing )

La multiplexación por división de tiempo es un medio de transmitir dos o más canales de información en el mismo circuito de comunicación utilizando la técnica de tiempo compartido. Se adapta bien a las señales binarias que consisten en impulsos que representan un dígito binario 1 o 0. Estos impulsos pueden ser de muy corta duración y sin embargo, son capaces de transportar la información deseada; por tanto, muchos de ellos pueden comprimirse en el tiempo disponible de un canal digital. La señal original puede ser una onda analógica que se convierte en forma binaria para su transmisión, como las señales de voz de una red telefónica, o puede estar ya en forma digital, como los de un equipo de datos o un ordenador.

### **1.11.2. WDM. (Wavelength División Multiplexing )**

La Multiplexación por División/Longitud de Onda que permite la transmisión simultánea de diferentes longitudes de onda (canales) por la misma fibra óptica, logrando así aumentar la capacidad propia del medio de transmisión.

Esta técnica conceptualmente es idéntica a FDM, excepto que la multicanalización y involucra haces de luz a través de fibras ópticas. La idea es la misma, combinar diferentes señales de diferentes frecuencias, sin embargo aquí las frecuencias son muy altas ( $1 \times 10^{14}$  Hz) y por lo tanto se manejan comúnmente en longitudes de onda (wavelength). WDM, así como DWDM son técnicas de multicanalización muy importantes en las redes de transporte basadas en fibras ópticas.

### **1.11.3.FDM ( Frecuency División Multiplexing )**

La multiplexación por división de frecuencia se utiliza para transmitir varios canales de información simultáneamente en el mismo canal de comunicación.

En FDM, el espectro de frecuencias representado por el ancho de banda disponible de un canal se divide en porciones de ancho de banda más pequeños, para cada una de las diversas fuentes de señales asignadas a cada porción. Explicado de forma sencilla, la diferencia entre los dos sistemas es ésta: En FDM, cada canal ocupa continuamente una pequeña fracción del espectro de frecuencias transmitido; en TDM, cada canal ocupa todo el espectro de frecuencias durante sólo una fracción de tiempo.

## **1.12.TÉCNICAS DE ACCESO.**

### **1.12.1.CDMA (Code Division Múltiple Access)**

Acceso Múltiple por División de Código; es una tecnología usada para telefonía celular con rehuso de frecuencia, a diferencia de las tecnologías de División de Tiempo no se utilizan canales multiplexados en tiempo para la transmisión de información (voz o datos) en lugar de ello todas las señales son montadas en una sola portadora (1.25 Mhz) para su radio-transmisión y a cada señal se le asigna un código que la identifica para ser reconvertida a información (voz o datos). Esta técnica se aplica en comunicaciones vía satélite particularmente para transmisión de datos a bajas velocidades.

### **1.12.2.TDMA (Time Division Múltiple Access)**

El Acceso múltiple por división de tiempo está caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora ; es común en los sistemas de telefonía fija. Las últimas tecnologías en los sistemas de radio son la codificación de la voz y la compresión de datos, que eliminan redundancia y periodos de silencio y decrecientan el tiempo necesario en representar un período de voz; los usuarios acceden a un canal de acuerdo con un esquema temporal.

### **1.12.3.FDMA ( Frecuency Division Múltiple Access)**

La multicanalización (o multiplexación) por división de frecuencia FDMA, es una técnica que consiste en transmitir varios mensajes al mismo tiempo a través de un canal de banda ancha modulando primero las señales de mensajes en varias subportadoras y formando una señal de bandabase compuesta que consiste en la suma de estas subportadoras moduladas.

#### **1.12.4.FAMA ( Fixed Assigned Multiple Access )**

Acceso múltiple por división de frecuencia con asignación arreglada ,permite que el acceso puede ser mantenido indefinidamente o ser asignado temporalmente por demanda de cada usuario; por lo general, estas modalidades se utilizan en enlaces satelitales, aunque también es factible encontrarlo en enlaces terrestres.

#### **1.12.5.DAMA ( Demand Assigned Multiple Access )**

Acceso múltiple por división de frecuencia con asignación por demanda (DAMA);está técnica de acceso múltiple, permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, pues las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para establecer comunicación; en el momento en que alguna deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para cualquier otra de las estaciones del sistema que la solicite temporalmente.

### **1.12.6.SDMA (Space Division Multiple Access)**

Acceso Múltiple por división del Espacio (SDMA), se usa en todos los sistemas celulares, analógicos o digitales. Por tanto, los sistemas celulares se diferencian de otros sistemas de radio truncados solamente porque emplean SDMA. Los sistemas de radio celulares, permiten el acceso a un canal de radio, siendo éste reutilizado en otras celdas dentro del sistema. El factor que limita SDMA es el factor de reutilización de frecuencia (interferencia co-canal).

### **1.13. REDES DE FIBRA OPTICA**

“Las redes ópticas se encargan de descomprimir y descongestionar los cuellos de botella producidos en las redes de acceso y que supone en la actualidad el bucle local, ofreciendo un ancho de banda flexible capaz de soportar los nuevos servicios de telecomunicaciones aumentando la calidad de los mismos. Existen varias arquitecturas posibles de uso de la fibra.

La categoría de Acceso Óptico engloba los sistemas donde se llega al usuario final con fibra.

Pueden clasificarse de dos formas:

Por el uso de elementos pasivos y/o activos: Redes PON”<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> [www.monografias.com/trabajos/edu/redesopticas.htm](http://www.monografias.com/trabajos/edu/redesopticas.htm)

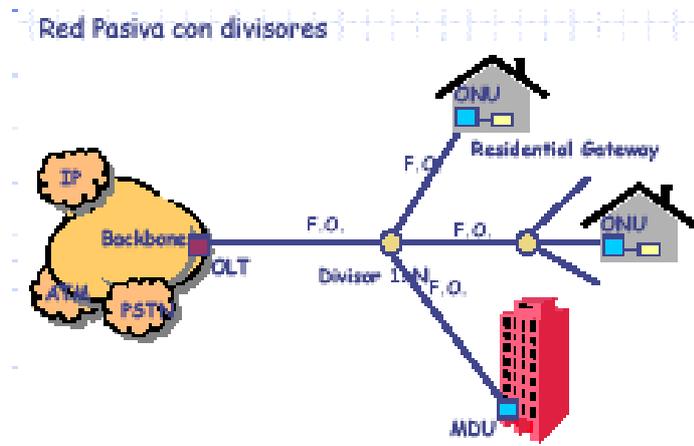


Figura 1.21. Red Óptica Pasiva.

### 1.13.1. REDES ÓPTICAS PASIVAS (PON)

En este caso la técnica de transmisión más utilizada es la multiplexación por división en longitud de onda WDM (Wavelength División Multiplexing) y la configuración punto a punto. Los usuarios suelen conectar a un anillo de distribución SDH que permite velocidades de varios cientos de Mbit/s. Al ser toda la infraestructura de fibra óptica, se proporciona una transmisión muy segura y libre de errores, con una alta capacidad de transferencia si se emplea, por ejemplo, ATM.

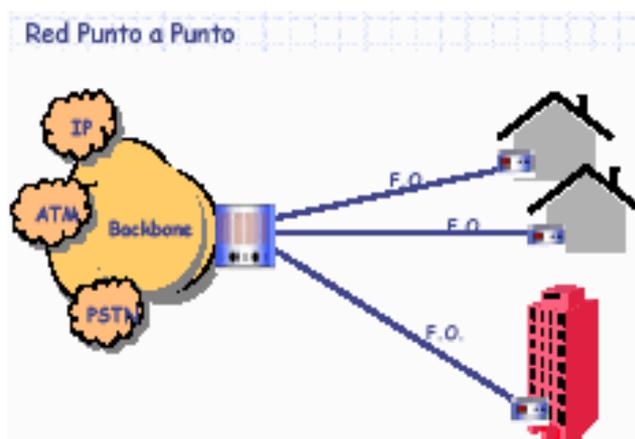


Figura 1.22. Red Punto a Punto.

**1.13.2. FTTH (Fiber to the home).** Fibra hasta el usuario. Topología tipo estrella llegando una fibra a cada usuario; su configuración ofrece mayores ventajas en cuanto a seguridad, rendimiento y ancho de banda, se trata de llegar con fibra óptica hasta el usuario, en donde se tiene toda la capacidad de transmisión de la fibra, es decir no compartirá recursos con otros usuarios, pero es la más cara.

**1.13.3. FTTB(Fiber to The Building).** Fibra hasta la Construcción. En este caso la fibra llega hasta un edificio residencial o de negocios, con un solo terminal de red óptico para todo el edificio, es conveniente en casos de empresas que manejan un amplio volumen de datos y que tienen concentradas sus operaciones en un sitio determinado.

**1.13.4.FTTC (Fiber To The Curb).** Fibra hasta el barrio o edificio y coaxial hasta el usuario. Es más barato que la FTTH; es una forma viable de acceder a servicios de banda ancha, con un costo final mucho más bajo y con un mercado de un fuerte crecimiento; esto de que las pequeñas empresas así como los usuarios residenciales no necesitan de contar con sistemas enormes.

**1.13.5.FTTCab (Fiber To The Cabinet)** Es una configuración parecida a la anterior con una sola diferencia de que el punto final de la red óptica servirá a un número mayor de usuarios.

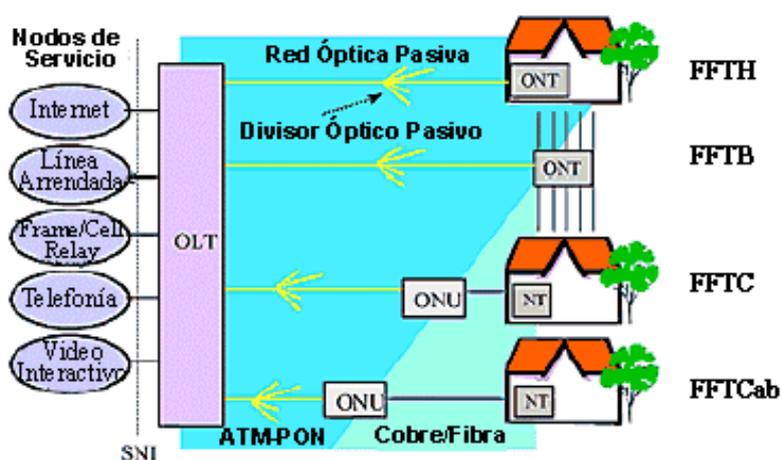


Figura 1.23. Las arquitecturas FTTx.

**1.13.6.HFC (Hybrid Fiber Coax).** Fibra hasta el nodo. Cada 300 o 500 usuarios se unen con un cable coaxial en forma de bus. Los coaxiales se concentran en los nodos que se unen mediante fibra óptica. Es el más barato y el más utilizado.

## **CAPITULO II**

### **DESCRIPCION DE LAS TECNICAS DE MULTIPLEXACION**

#### **xDWM**

#### **2.1.GENERALIDADES.**

##### **2.1.1. INTRODUCCIÓN:**

Los primeros sistemas telefónicos utilizaban cables de acero o de cobre para transmitir la señal eléctrica. Sin embargo, a medida que el volumen de llamadas y la distancia entre las centrales de conmutación creció, fue necesario utilizar otras vías de transmisión. Las más usadas son el cable coaxial y el cable submarino, por aire mediante radio (sea por microondas o por satélite) y hoy día la fibra óptica. La conexión entre las centrales telefónicas y los abonados se realizan todavía utilizando un par de cables de cobre para cada abonado. Sin embargo, en algunas grandes ciudades ya se han empezado a sustituir éstos por fibra óptica.

En las década de los 60 y de los 70 en que aparecieron los láseres y la fibra óptica; empezó el desarrollo de la electro-óptica ha sido espectacular y se han alcanzado grandes éxitos con la aplicación de esta técnica para la construcción

de todo tipo de dispositivos que permiten transmitir una gran cantidad de información a gran distancia, con total fiabilidad y seguridad.

La mayoría de las grandes ciudades están hoy enlazadas por una combinación de conexiones por microondas, cable coaxial, fibra óptica y satélites. La capacidad de cada uno de los sistemas depende de su antigüedad y el territorio cubierto (los cables submarinos están diseñados de forma muy conservadora y tienen menor capacidad que los cables de superficie), pero, en general, se pueden clasificar de la siguiente forma: la digitalización simple a través de un par paralelo proporciona decenas de circuitos ; el coaxial permite cientos de circuitos por par y miles por cable; las microondas y los satélites dan miles de circuitos por enlace, y la fibra óptica permite hasta decenas de miles de circuitos por fibra. La capacidad de cada tipo de sistema ha ido aumentando notablemente desde su aparición debido a la continua mejora de la ingeniería.

Originalmente la fibra fue diseñada para la transmisión de datos, sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un gran número de aplicaciones como telefonía, datos, automatización industrial, computación , sistemas de televisión por cable y transmisión de imágenes de alta resolución entre otros.

Antes de estudiar y analizar las redes WDM es necesario entender como y porque surgió la necesidad de desarrollar esta técnica de multiplexación de

gran ancho de banda; por esto debemos ver las redes de alta velocidad SDH / SONET, que a continuación estudiaremos sus principales características.

## **2.2 REDES DE ALTA VELOCIDAD SDH/SONET**

### **2.2.1. ANTECEDENTES**

“En los años 80s las tecnologías de alta velocidad dominantes eran las llamadas jerarquías digitales no-síncronas referidas por el término PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) tales como E1/E3 o T1/T3 [ tabla 2.1]. En aquellos tiempos, el tráfico de voz era el reinante en las redes de telecomunicaciones. Sin embargo, con el pasar de los años siguió un crecimiento explosivo del tráfico de información a través de las redes, debido a gran parte a la red Internet, lo que ocasionó una gran demanda de comunicación a altas velocidades. Los patrones de tráfico en los años 90s cambiaron drásticamente, ahora los datos superaban al tráfico de voz.”<sup>1</sup>

Las redes de alta velocidad de hoy en día son ópticas y están basadas principalmente en dos estándares conocidos como SDH y SONET, los cuales consisten de anillos de fibra óptica en los cuales la información es intercambiada electrónicamente en los nodos. Tanto SDH como SONET son las tecnologías de transporte dominantes en las redes metropolitanas de los proveedores de servicios de telecomunicaciones (carriers) en la actualidad.

---

<sup>1</sup> [www.telcordia.com](http://www.telcordia.com)

### 2.2.2 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

PDH define un conjunto de sistemas de transmisión que utiliza dos pares de alambres (uno para transmitir, otro para recibir) y un método de multicanalización por división de tiempo (TDM) para interpolar múltiples canales de voz y datos digital; como se muestra en el cuadro siguiente:

ANSI			ITU		
Señal	Tasa de bits	Canales	Señal	Tasa de bits	Canales
DS0	64 Kbps	1 DS0	E0	64 Kbps	64 Kbps
DS1	1.544 Mbps	24 DS0	E1	2.048 Mbps	32 E0
DS2	6.312 Mbps	96 DS0	E2	8.448 Mbps	128 E0
DS3	44.736 Mbps	28 DS1	E3	34.368 Mbps	16 E1
	No definido		E4	139.264 Mbps	64 E1

**Tabla 2.1. Jerarquías digitales no-sincronas**

Existen tres conjuntos diferentes de estándares PDH utilizados en las telecomunicaciones mundiales:

- “**T1**, el cual define el estándar PDH de Norteamérica que consiste de 24 canales de 64 Kbps (canales DS-0) dando una capacidad total de 1.544 Mbps. También están disponibles T1s fraccionales.

- **E1**, el cual define el estándar PDH europeo, definido por la ITU-T pero que es utilizado en el resto del mundo, incluyendo México. E1 consiste de 30 canales de 64 Kbps (canales E0) y 2 canales reservados para la señalización y sincronía, la capacidad total nos da 2.048 Mbps. Pero también están disponibles E1s fraccionales.
  
- **J1**, el cual define el estándar PDH japonés para una velocidad de transmisión de 1.544 Mbps consistente de 24 canales de 64 Kbps (canales DS-0), aunque también están disponibles J1 fraccionales. La longitud de la trama del estándar J1 es de 193 bits (24 x 8 bit, canales de voz/datos más un bit de sincronización), el cual es transmitido a una tasa de 8000 tramas por segundo. Así,  $193 \text{ bits/trama} \times 8000 \text{ tramas/segundo} = 1.544 \text{ Mbps}$ .

PDH tiene muchas debilidades, algunas de ellas son las siguientes:

- No existe un estándar mundial en el formato digital, existen tres estándares incompatibles entre sí, el europeo, el estadounidense y el japonés.
- No existe un estándar mundial para las interfaces ópticas. La interconexión es imposible a nivel óptico.
- La estructura asíncrona de multicanalización es muy rígida

- Capacidad limitada de administración
- Incompatibilidad intercontinental
- No pensada para fibra óptica (diseñada en los 60)
- Capacidades máximas bajas: Japón 98 Mb/s, Norteamérica 274 Mb/s, Resto mundo 139 Mb/s
- Carece de herramientas de gestión ni posibilidad de tolerancia a fallos

Debido a las desventajas de PDH, era obvia una nueva técnica de multicanalización, nace así SONET/SDH.”<sup>2</sup>

### **2.2.3. INFRAESTRUCTURA DE SONET/SDH**

SONET y SDH son un conjunto de estándares para la transmisión o transporte de datos síncronos a través de redes de fibra óptica. SONET significa por sus siglas en inglés, *Synchronous Optical Network*; SDH viene de *Synchronous Digital Hierarchy*. Aunque ambas tecnologías sirven para lo mismo, tienen pequeñas diferencias técnicas, de manera semejante con el T1 y el E1. SONET, por su parte, es utilizada en Estados Unidos, Canadá, Corea, Taiwán y Hong Kong; mientras que SDH es utilizada en el resto del mundo. Los estándares de SONET están definidos por la ANSI (*American National Standards Institute*) y los SDH por la ITU-T (*International Telecommunications*

---

<sup>2</sup> [www.telcordia.com](http://www.telcordia.com)

*Union*). En la tabla 2.2 se muestra la equivalencia entre SDH y SONET en cuestión de velocidades o tasas de bits.

Los niveles de servicio de SDH/SONET incluyen:

- “ **OC** (Optical Carrier): define las velocidades de transmisión de SONET para señales ópticas en incrementos de 51.84 Mbps
- **STS** (Synchronous Transport Signal): define las velocidades de transmisión de SONET para señales eléctricas en incrementos de 51.84 Mbps
- **STM** (Synchronous Transport Mode): define las velocidades de transmisión de SONET para señales eléctricas y ópticas en incrementos de 155.52 Mbps

Algunas de las ventajas de SDH son las siguientes:

- Primer estándar mundial en formato digital
- Primer interface óptica
- La compatibilidad transversal reduce el costo de la red
- Estructura de multicanalización síncrona flexible
- El número reducido de interfaces espalda con espalda mejora la confiabilidad y desempeño de la red

- Capacidad poderosa de administración
- Compatibilidad hacia adelante y hacia atrás”<sup>3</sup>

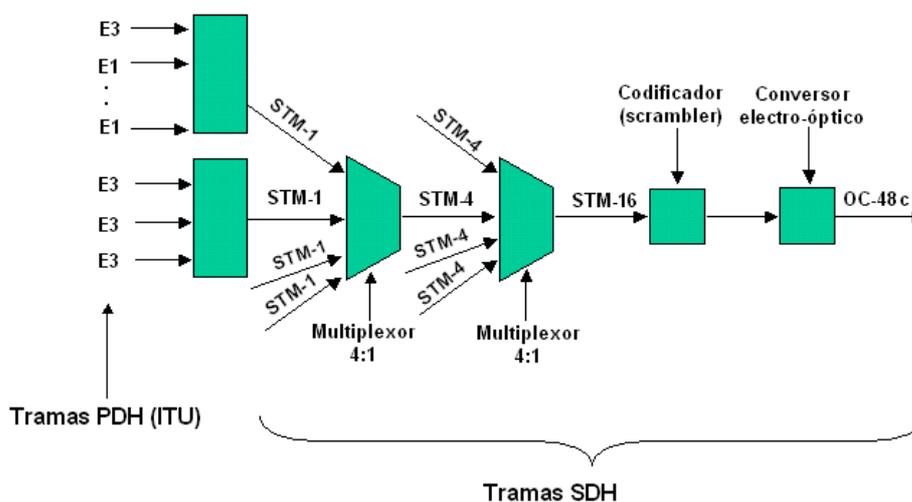
SONET		SDH	Tasa de bits
Nivel óptico	Nivel eléctrico	Equivalencia	(Mbps)
OC-1	STS-1	STM-0	51.84
OC-3	STS-3	STM-1	155.52
OC-12	STS-12	STM-4	622.08
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28
OC-768	STS-768	STM-256	39812.12
STM: Synchronous Transport Module (ITU-T) STS: Synchronous Transport Signal (ANSI) OC: Optical Carrier (ANSI)			

**Tabla 2.2. Equivalencia en Jerarquías Digitales SDH y SONET**

La tasa de bits se refiere a la velocidad de información que es transportada a través de la fibra óptica. Tanto SONET como SDH convergen en el nivel base de SDH de 155 Mbps, definido como STM-1. El nivel base para SONET es STS-1 (OC-1) y es equivalente a 51.84 Mbps. Así, STM-1 de SDH es equivalente a STS-3 de SONET (3 x 51.84 Mbps = 155.52 Mbps) y así sucesivamente.

<sup>3</sup> [www.redes/sonet/\\*58ht/sdh.htm](http://www.redes/sonet/*58ht/sdh.htm)

## 2.2.4.MULTIPLEXACION SDH.



**Figura2.1. Multiplexación SDH**

En este punto mostraremos cómo la información es empaquetada en un módulo de transporte síncrono de modo que este pueda ser transportado y gestionado a través de la red.

Un Contenedor es el elemento básico de una señal SDH. Éste está formado por los bits de información de una señal PDH la cual será empaquetada dentro del contenedor. Existen diferentes tipos de contenedores, cada uno de los cuales corresponde con una señal PDH de diferente tasa de transmisión.

**“La Cabecera de Ruta (Path Overhead):** Cada contenedor tiene algún tipo de control sobre la información asociada a él. Esta información es generada en el nodo originario de la ruta y es terminada en el nodo final del camino. Esta información permite al operador etiquetar el tráfico así como trazar la señal a través de la red (envío de trazas) e identificarla para propósitos de protecciones y monitorización de cuentas de errores.

**El Contenedor Virtual** se refiere al conjunto de un contenedor y a su cabecera de ruta asociada. Volviendo a la analogía con una tubería, el contenedor virtual puede ser visto como el paquete de tráfico PDH el cual es portado a través de la tubería SDH.

Hay diferentes tipos de contenedores virtuales (VC). Un VC-12 (Como se indica en la tabla 2.3) es construido de un contenedor C-12, el cual contiene una señal PDH de 2 Mbps. Un VC-3 porta un contenedor C-3 que contiene una señal PDH de 34 Mbps y un VC-4 porta una señal PDH de 140 Mbps en un contenedor C-4. Un contenedor virtual puede contener otros contenedores virtuales, proceso que denotamos como anidamiento. Por ejemplo un VC-4

puede ser conformado con 63 VC-12's. Esto simplifica el transporte y gestión de estas señales a través de la red.”<sup>4</sup>

<b>SDH</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Tamaño de VC</b>
VC-11	1.728 Mbit/s	9 Filas , 3 Columnas
VC-12	2.304 Mbit/s	9 Filas , 4 Columnas
VC-2	6.912 Mbit/s	9 Filas , 12 Columnas
VC-3	48.960 Mbit/s	9 Filas , 85 Columnas
VC-4	150.336 Mbit/s	9 Filas , 261 Columnas

**Tabla 2.3. Contenedores Virtuales (VC).**

**El módulo de transporte síncrono:** Una señal es introducida en un contenedor virtual. El contenedor virtual es portado sobre la red junto a algunos otros contenedores ubicados en un módulo de transporte síncrono o STM (Synchronous Transport Module).

El contenedor virtual está ubicado en el área de carga útil del STM (Payload Area). Volviendo atrás en la analogía inicial, los STM's pueden ser vistos como tuberías con las cuales se confecciona la red y el contenedor virtual como los paquetes que son portados a través de las tuberías. La unidad básica de SDH es la estructura STM-1. Cuatro marcos STM-1 son concatenados o multiplexados para dar un STM-4 el cual tiene una mayor tasa de transmisión. STM -16 y STM-64 ofrecen mayores tasas de transmisión y soportan un mayor

<sup>4</sup> [www.atmforum.com/pages/interworksw/dsl.html](http://www.atmforum.com/pages/interworksw/dsl.html)

numero de señales en su área de carga útil. Así, los STM-4, STM-16 y STM-64 pueden ser vistos como tuberías más gruesas.

En conclusión podemos decir que la información entrará en la red SDH como un flujo digital de información. La información de estas señales es mapeada en un contenedor, y cada contenedor, por lo tanto, tiene algo de información de control añadida, conocida como cabecera de camino. La combinación de estas señales y la cabecera es conocida como contenedor virtual. Los contenedores virtuales forman el área de carga útil del módulo de transporte síncrono (STM) el cual también tiene información de control llamada cabecera de sección.

La información entra en la red como flujos digitales de 2 Mbps que serán acomodados en contenedores virtuales VC-12. Un elemento de red SDH multiplexará esta señal junto con otras señales de tributario en una señal agregada de mayor tasa de transmisión. En el ejemplo, esto es una señal STM-1 de 155 Mbps. Esto es en la red local SDH. Esta señal puede entonces ser de nuevo multiplexada para dar una señal STM-4 a 622 Mbps en el siguiente nivel, llegando a alcanzar el STM-64 cuando son portadas a 10 Gbps. En este flujo de mayor tasa de transmisión son transportadas muchas señales en una única

fibra, en lo que es conocido como red troncal o backbone de la red y transportará la información a un determinado punto geográfico.

#### 2.2.4.1. TRAMA STM-1 (SYNCHRONOUS TRANSPORT MODULE NIVEL 1)

“La jerarquía STM-1 es la menor velocidad prevista para la transmisión a través de un enlace de SDH, es decir es la jerarquía básica. La STM-1 tiene una estructura de trama que se conforma de 2430 bytes en serie , que por lo general se ilustra en forma de matriz para hacer más cómoda su representación, quedando entonces una estructura bidimensional de 9 regiones, con 270 bytes por región. Esta matriz debe ser recorrida en izquierda a derecha, y en sentido descendente, para así ir siguiendo la secuencia en serie.”<sup>5</sup> (Figura 2.2)

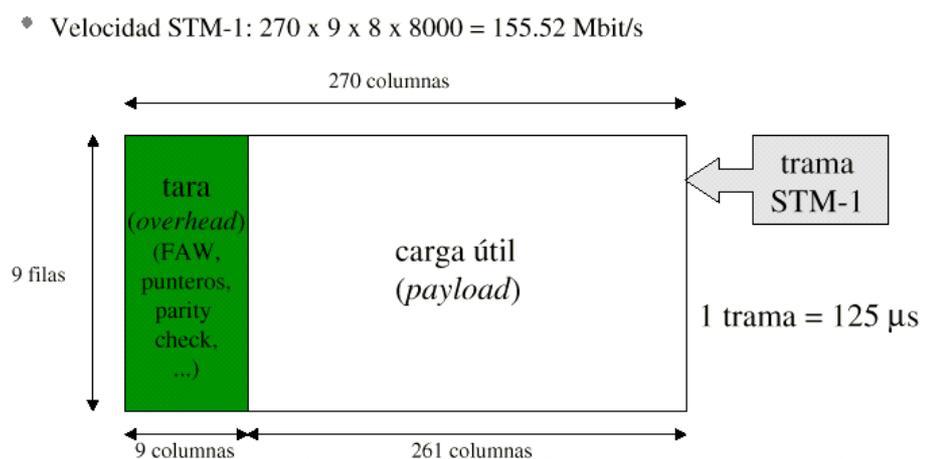


Figura 2.2. Trama STM-1

<sup>5</sup> [www.atmforum.com/pages/interworksw/dsl.html](http://www.atmforum.com/pages/interworksw/dsl.html)

### 2.2.5.ELEMENTOS DE UNA RED SDH

Una red SONET/SDH está formada por:

1. EDFA {Erbium - Doped Fiber Amplifier}
2. Multiplexores, llamados ADMs (Add-Drop Multiplexor). Permiten intercalar o extraer tramas (p. Ej. una STM-1 en una STM-4).  
Permiten crear anillos.
3. Digital Cross-Connect: actúan como los ADMs pero permiten interconexiones más complejas (con más de dos puertos).
4. Repetidores o Regenadores.

A menudo se utilizan en topologías de anillo para aumentar la fiabilidad.

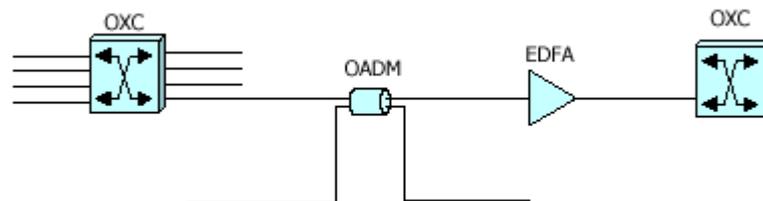


Figura 2.3.Elementos de una red SDH

**“1. Amplificadores de fibra dopados con erbio, EDFAs (*Erbium-Doped Fiber Amplifiers*)**, capaces de completar todo el proceso de amplificación en el dominio óptico, lo cual facilita las cosas en gran medida, puesto que

evita tener que realizar las dos conversiones optoelectrónicas hasta ahora necesarias, puesto que la regeneración de la señal debía llevarse a cabo en el dominio electrónico.

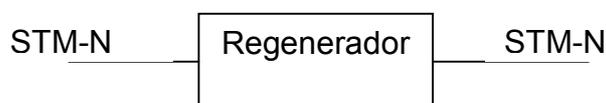
Otra de las ventajas que introducen este tipo de dispositivos es que permiten amplificar varias o todas las longitudes de onda que se transmiten en una fibra (es factible conseguir EDFAs con curvas de ganancia planas en tercera ventana), es decir, que, combinándolos con DWDM, además de lograr un ahorro en fibra también permite reducir el número de amplificadores necesarios.

**2. Multiplexores de adición / extracción (ADMs, Add / Drop Multiplexers).** Estos dispositivos son capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma. Además de la extracción, también permiten introducir canales a mitad de fibra.

**3. Conmutadores ópticos (OXC, Optical CrossConnects).** Son dispositivos que permiten realizar la conmutación sin pasar al dominio eléctrico incluso entre longitudes de onda de distintas fibras. Las versiones más sencillas presentan matrices de conmutación de 16x16, aunque ya hay quien habla de matrices de incluso 256x256; en las que

se consiga eliminar todas las tareas que actualmente se realizan en el dominio eléctrico, puesto que suponen una gran tarea en velocidad y en eficiencia.

- 4. Regeneradores:** Como su nombre implica, los regeneradores se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos entrantes que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión y otros factores. Obtienen sus señales de reloj del propio flujo de datos entrante. También es posible enviar mensajes utilizando esos canales. (Figura 2.4.)”<sup>6</sup>



**Figura 2.4. Regenerador SDH**

### **2.2.6. TOPOLOGÍAS DE LA RED SDH**

También en este tipo de redes se utilizan las topologías clásicas de punto – punto, punto multipunto, la red malla o los anillos; sin embargo, la topología de mayor implementación es la de anillo, debido a su factibilidad de mantenerse en operación, un corte de la fibra no es un suceso grave, puesto que los equipos tienen la inteligencia para enviar la información por vías alternativas, sin tener una parada prolongada, otra característica positiva de los anillos es su

---

<sup>6</sup> Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Antonio Salavert. CISCO

rápida capacidad de reestructurar nodos para servicios alternativos así como la posibilidad de una restauración automática en segundos.

En conclusión las ventajas que presenta SDH son las de entregar a la red un mayor potencial de desempeño, hacer más flexible la multiplexación, permite la interconexión óptica, la posibilidad de tener configuraciones punto-multipunto, capacidad de implementar la red de gestión, facilidades para el monitoreo del desempeño de la red .

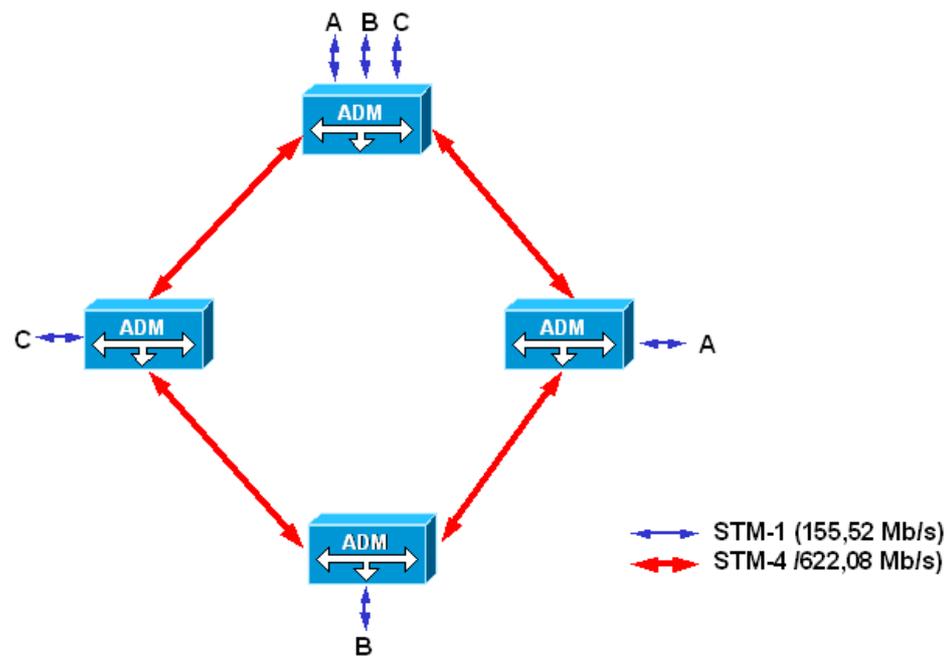
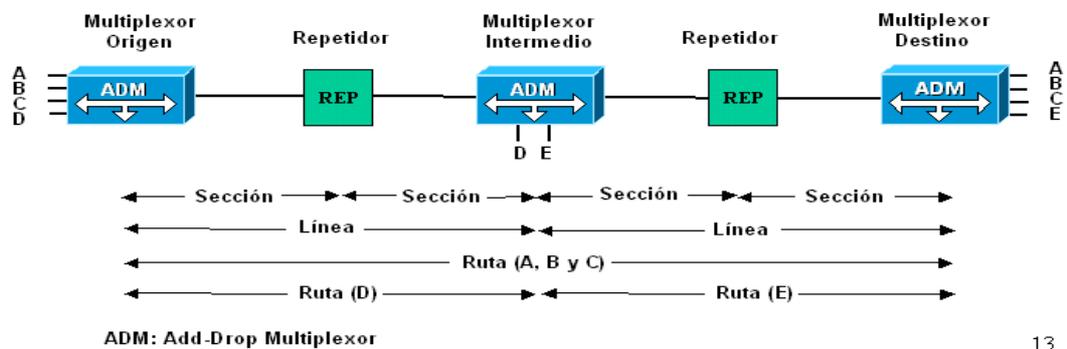


Figura 2.5. Topología SDH en anillo.

### 2.2.7. ENLACES EN UNA RED SONET/SDH

Existen tres enlaces en una red SONET / SDH que a continuación se menciona y se puede observar en la figura2.6.

- **Sección:** unión directa entre dos equipos cualesquiera
- **Línea:** unión entre dos ADMs contiguos
- **Ruta:** unión entre dos equipos finales (principio-fin de un circuito)



13

Figura 2.6 Enlaces de una red SONET / SDH.

## 2.2.8. RECOMENDACIONES DE LA ITU-T RELATIVAS A LOS SISTEMAS

### SDH :

- “G.703: Características físicas/eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas
- G.707: Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital Síncrona (SDH)
- G.772: Puntos de supervisión protegidos de los sistemas de transmisión digital

- G.774: Modelo de información de gestión de la jerarquía digital Síncrona desde el punto de vista de los elementos de red
- G.774.01: Supervisión de la calidad de funcionamiento de la jerarquía digital Síncrona desde el punto de vista de los elementos de red
- G.774.02: Configuración de la estructura de cabida útil de la jerarquía digital Síncrona desde el punto de vista de los elementos de red
- G.774.03: Gestión de la protección de secciones de multiplexión de la jerarquía digital Síncrona desde el punto de vista de los elementos de red
- G.774.04: Gestión de la protección de conexiones de subred de la jerarquía digital Síncrona desde el punto de vista de los elementos de red
- G.774.05: Gestión en la jerarquía digital Síncrona de la funcionalidad de supervisión de la conexión de orden superior e inferior desde el punto de vista de los elementos de red
- G.780: Vocabulario de términos para redes y equipos de la jerarquía digital Síncrona

- G.783: Características de los bloques funcionales de los equipos de la jerarquía digital Síncrona (sustituye a la versión 01/94 de G.781, G-782 y G.783)
  
- G.784: Gestión de la jerarquía digital Síncrona
  
- G.803: Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital Síncrona
  
- G.810: Definiciones y terminología para las redes de sincronización
  
- G.811: Requisitos de temporización en las salidas de relojes de referencia primarios adecuados para la explotación plesiócrona de enlaces digitales internacionales
  
- G.813: Características de temporización de los relojes subordinados de los equipos de la jerarquía digital Síncrona (SEC)
  
- G.825: Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital Síncrona

Para redes de Teleinformática con SDH tenemos:

- G.826: Parámetros y objetivos de características de error para trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante que funcionen a la velocidad primaria o a velocidades superiores
  
- G.831: Capacidades de gestión de las redes de transporte basadas en la jerarquía digital Síncrona
  
- G.832: Transporte de elementos SDH en redes PDH
  
- G.841: Tipos y características de las arquitecturas de protección de las redes SDH
  
- G.842: Interfuncionamiento de las arquitecturas de protección de las redes SDH
  
- G.957: Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital Síncrona
  
- G.958: Sistemas de líneas digitales basados en la jerarquía digital Síncrona para su uso en cables de fibra óptica

- M.2101: Límites de calidad de funcionamiento para la puesta en servicio y el mantenimiento de trayectos y secciones multiplex de la jerarquía digital Síncrona
- M.2110: Puesta en servicio de trayectos, secciones y sistemas internacionales de transmisión
- M.2120: Detección y localización de fallos en trayectos, secciones y sistemas de transmisión digital
- 0.150: Requisitos generales para la instrumentación de mediciones de la calidad de funcionamiento de equipos de transmisión digital
- 0.172: Equipos de medida de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase para sistemas digitales basados en la jerarquía digital Síncrona
- 0.181: Equipo de medición para determinar la característica de error en las interfaces de módulo de transporte síncrono de nivel N. <sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> UIT Recomendaciones, Sector de Normalización de las Telecomunicaciones, Marzo 2003

### 2.2.9. INCONVENIENTES DE SONET/SDH

SONET/SDH se diseñó pensando en telefonía, donde la fiabilidad del circuito era fundamental. Para datos SONET/SDH presenta varios inconvenientes:

- La comunicación no siempre va por el camino más corto
- Hay un reparto estático de la capacidad entre circuitos
- La fibra de reserva no se utiliza, pero ha de estar preparada con todo su equipamiento por si falla la otra.
- En IP el nivel de red ya incorpora fiabilidad ,por lo que las funciones de SONET/SDH son innecesarias.
- Solución: prescindir del equipamiento SONET/SDH.
- El límite actual es OC-192 (STM-64) = 10 Gb/s Tecnológicamente es muy difícil superar este límite
- Si se quiere más capacidad hay que emplear varias fibras
- Pero a veces no quedan fibras libres y es muy caro tirar nuevas  
(especialmente cuando se trata de largas distancias)

Debido a las desventajas de SONET / SDH ;surge una solución que es la técnica de multiplexación WDM

### 2.3.WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda)

“WDM (Wavelength Division Multiplexing) o Multiplexación por División de Longitud de Onda; que permite la transmisión simultánea de diferentes longitudes de onda (canales) por la misma fibra óptica, logrando así aumentar la capacidad propia del medio de transmisión; las frecuencias son muy altas en el orden de los  $1 \times 10^{14}$  Hz. Esta multiplexación se parece mucho a las emisiones radiofónicas en que cada una de ellas emplea una longitud de onda específica sin interferir con las demás. Dado que cada canal funciona a una frecuencia distinta, se pueden seleccionar con un sintonizador. Otra manera de ver el WDM es que cada canal funciona con un color de luz distinto; varios canales hacen un arco iris.”<sup>8</sup>

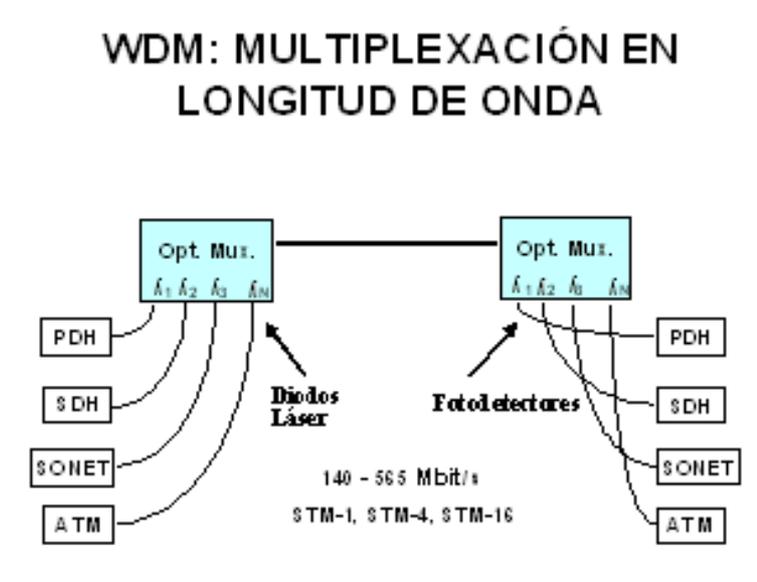


Figura 2.7 WDM (Multiplexación en Longitud de Onda.)

<sup>8</sup> [www.iec.org/online/tutorials/BroadBand Access/vdsl.pdf](http://www.iec.org/online/tutorials/BroadBand%20Access/vdsl.pdf)

### 2.3.1. DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN SISTEMA WDM

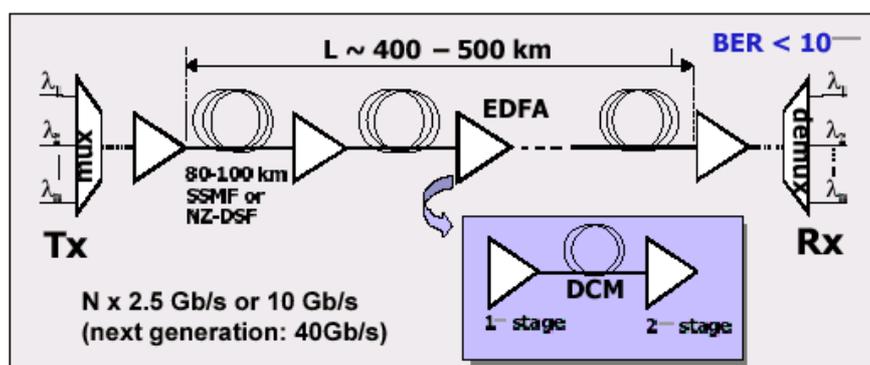


Figura2.8. Diagrama esquemático de un sistema WDM.

En el diagrama se tiene: Un dispositivo multiplexor combina los diferentes canales. Estos se transmiten por una cadena de segmentos de fibra, seguidos por amplificadores ópticos EDFAs. Los puntos de amplificación de la señal se llama repetidores. Los canales son finalmente de-multiplexados y enviados a sendos receptores. La tasa de error debe ser menor a  $10^{-16}$ .

En sistemas de última generación Tx y Rx: transmisores y receptores. BER bit-error-rate (tasa de error). N: número de canales WDM.

### 2.3.2. COMPONENTES DE UN SISTEMA WDM

Los principales componentes de todos los sistemas WDM. Estos son:

1. Un láser óptico (transmisor).
2. Un detector óptico (receptor).
3. Filtros ópticos para multiplexar y demultiplexar.

4. Amplificadores ópticos para extensión de distancia.
5. DCM (Dispersion Compensation Module)

### **2.3.2.1. EMISORES DE LUZ – LEDS Y LASERES**

“La fuente de luz usada en el diseño de un sistema es un asunto importante porque puede ser uno de los elementos más caros. Sus características son a menudo un factor importante en cuanto a la limitación en el rendimiento final del enlace óptico. Los dispositivos emisores de luz usados en la transmisión óptica deben ser compactos, monocromáticos, estables y de larga duración.

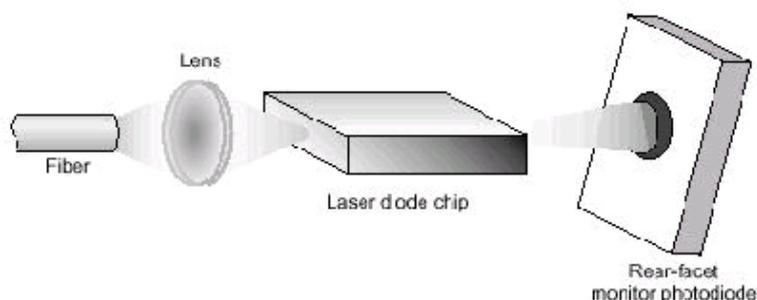
Monocromático es un término relativo; en la práctica hay solamente fuentes de luz con un rango determinado. La estabilidad de la fuente de luz es una medida de cuan constante es su intensidad y longitud de onda.

Se usan dos tipos generales de dispositivos emisores de luz en transmisión óptica, los LEDs (Light-Emitting Diodes) y los láseres (diodos o semiconductores). Los LEDs son dispositivos lentos, útiles para velocidades inferiores a 1 Gbps, tienen un espectro relativamente ancho, y transmiten la luz en un cono relativamente ancho.

Estos dispositivos baratos se usan a menudo en comunicaciones con fibra multimodo. Por otro lado los láseres semiconductores tienen como

característica un rendimiento mejor y se pueden utilizar en aplicaciones con fibra monomodo.

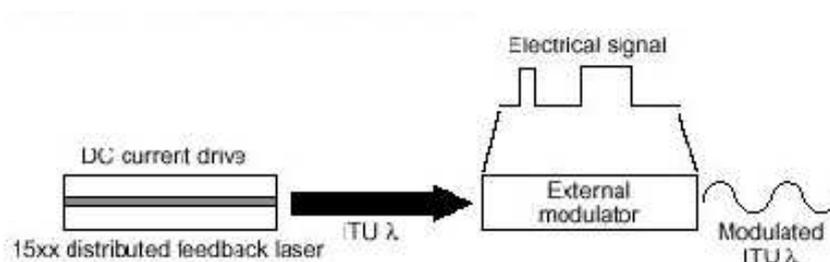
En la figura 2.9. se ven los principios generales de como enviar luz láser en una fibra. El chip diodo láser emite luz en una dirección que se debe enfocar en la fibra con una lente y en la otra dirección en un fotodiodo. El fotodiodo, que tiene un ángulo para reducir las reflexiones en la cavidad del láser, es una forma de monitorizar la salida del láser y suministrar la retroalimentación necesaria para los ajustes.



**Figura 2.9. Principios generales de como enviar luz láser en una fibra.**

Los requerimientos para láseres incluyen una longitud de onda precisa, un ancho del espectro estrecho, suficiente potencia, y control del chip (el cambio en frecuencia de una señal en el tiempo). Los láseres semiconductores satisfacen bien los tres primeros requerimientos. Sin embargo el chip puede estar afectado por los medios usados para modular la señal. En los láseres modulados directamente, la modulación de la luz que representa el dato digital se hace internamente. Con la modulación externa, la modulación se hace en un

dispositivo externo. Cuando los láseres semiconductores son modulados directamente, el chip puede llegar a ser un factor limitador a altas velocidades (por encima de 10 Gbps). Por otro lado la modulación externa ayuda a limitar el chip. En la figura 2.10. se puede ver el esquema de una modulación externa.



**Figura 2.10. Esquema de una modulación externa.**

Los tipos de láseres semiconductores habituales son: láseres monolíticos Fabry-Perot, y láseres con realimentación distribuída (DFB). El segundo tipo se adapta bien a las aplicaciones WDM, emitiendo una luz casi monocromática, que es capaz de funcionar a altas velocidades, tiene una favorable relación señal/ruido, y tiene una linealidad superior. Los láseres DFB también tienen frecuencias centradas en la región de los 1310 nm y de 1520 a 1565 nm. El último rango de longitud de onda es compatible con EFDAs. <sup>9</sup>

<sup>9</sup> Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Antonio Salavert. CISCO

### 2.3.2.2. RECEPTORES

“En el lado receptor, es necesario recuperar las señales transmitidas a diferentes longitudes de onda en la fibra. Debido a que por naturaleza los fotodetectores son dispositivos de banda ancha, las señales ópticas son demultiplexadas antes del detector.

Se utilizan fundamentalmente dos tipos de fotodetectores, el fotodiodo PIN (Positive-Intrinsic-Negative) y el fotodiodo de avalancha (APD). El fotodiodo PIN trabaja bajo principios similares a los LEDs pero al revés, es decir, la luz es absorbida más que emitida, y los fotones se convierten en electrones en una relación 1:1. Los APDs son dispositivos similares a los fotodiodos PIN, pero su ganancia se obtiene a través de un proceso de amplificación. Un fotón actuando en el dispositivo libera muchos electrones. Los fotodiodos PIN tienen muchas ventajas, incluido su coste y su fiabilidad, pero los APDs tienen mayor sensibilidad de recepción y mayor exactitud. Sin embargo los APDs son más caros que los fotodiodos PIN, y pueden tener requerimientos de intensidad mayores y más sensibles a la temperatura.”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Antonio Salavert. CISCO

### **2.3.2.3. AMPLIFICADORES ÓPTICOS**

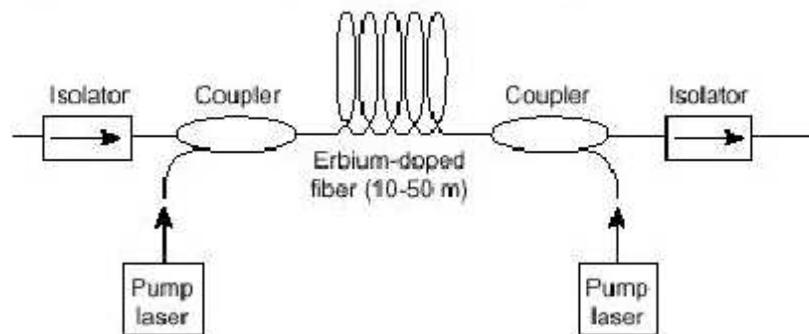
Debido a la atenuación, hay límites en cuanto a la longitud de un segmento de fibra. Si se sobrepasan es necesaria una regeneración de la señal. Antes de la existencia de los amplificadores ópticos (OA), había que tener un repetidor por cada señal transmitida. El OA ha hecho posible amplificar todas las longitudes de onda a la vez y sin conversión OEO (Optical-Electric-Optical). Además de ser usados en enlaces ópticos, los amplificadores ópticos también se puede usar para aumentar la potencia de la señal después de la multiplexación o antes de la demultiplexación, dado que ambos procesos introducen pérdidas en el sistema.

#### **2.3.2.3.1. AMPLIFICADOR DE FIBRA DOPADO CON ERBIO (EDFA)**

El EDFA fué una tecnología clave para hacer posible el transporte de gran cantidad de información de que es capaz el WDM de transmitir a largas distancias, Al mismo tiempo, ha sido un gran hito en el desarrollo de otros elementos y tecnologías de las redes.

El erbio es un raro elemento que cuando se excita emite luz alrededor de 1,54  $\mu\text{m}$ , que es la longitud de onda de menor pérdida para las fibras ópticas usadas en WDM. En la figura siguiente se ve un diagrama simplificado de un EDFA. Una señal débil entra en una fibra dopada con erbio, en que la luz a 980 nm o 1480 nm es inyectada mediante una bomba láser. De esta manera la luz

inyectada estimula los átomos de erbio que liberan su energía almacenada como luz adicional de 1550 nm. Como este proceso continua por la fibra, la señal se refuerza. Las emisiones espontáneas en el EFDA también añaden ruido a la señal como se ve en la figura 2.11.



**Figura 2.11. Amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA)**

Los parámetros clave de los amplificadores ópticos son la ganancia, la igualdad de ganancia, el nivel de ruido y la potencia de salida. Típicamente los EDFAs son capaces de ganancias de hasta 30 dB o más y potencias de salida de +17 dB o más. Sin embargo los parámetros clave cuando se selecciona un EFDA son el bajo ruido y la igualdad de la ganancia. La ganancia es plana porque todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. Mientras la ganancia de señal suministrada por la tecnología EFDA depende inherentemente de la longitud de onda, se puede corregir con filtros de ganancia plana. A menudo estos filtros se construyen en modernos EDFAs.

El bajo ruido es un requerimiento porque el ruido es amplificado con la señal. Dado que su efecto es acumulativo, y no se puede filtrar, la relación señal /ruido es un factor limitativo en el número de amplificadores que se pueden concatenar y, por tanto, la longitud del enlace de una sola fibra. En la práctica, las señales pueden viajar hasta 120 Km.. entre amplificadores. A distancias superiores de 600 a 1000 Km.. la señal se debe regenerar. Esto es porque el amplificador óptico solo amplifica las señales y no realiza las funciones 3R (Reshape, Retime, Retransmit). Los EDFAs se pueden emplear en las bandas C y L.

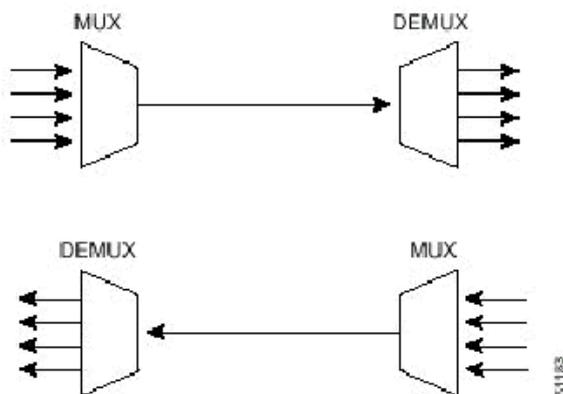
Otro amplificador se conoce como Raman y su concepto de operar es diferente a lo que conocemos convencionalmente en sistemas de transmisión, aquí la señal es amplificada hasta sus máximos niveles de potencia y es enviada al medio de transmisión. La atenuación inherente a las señales de datos transmitidos por una fibra puede combatir en la misma fibra. Los diseñadores de este amplificador decidieron usar una señal de láser de onda continua, que típicamente es enviada por la fibra desde el extremo del receptor, bombeando la fibra, y convirtiendo la misma fibra en un amplificador.

#### **2.3.2.4. MULTIPLEXADORES Y DEMULTIPLEXADORES**

“Dado que los sistemas WDM envían señales de varias fuentes sobre una sola fibra, debemos incluir algunos dispositivos para combinar las señales de entrada.

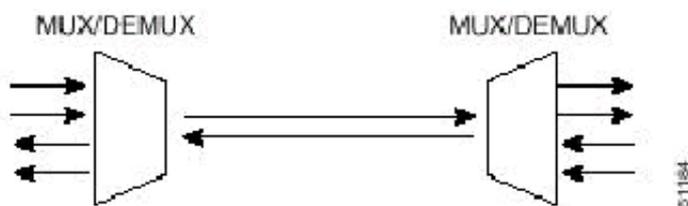
Esto lo hace un multiplexador, que toma las longitudes de onda ópticas de múltiples fibras y las convierte en un solo rayo. En el extremo receptor, el sistema debe poder separar los componentes de luz así que puedan ser discretamente detectados.

Los demultiplexadores realizan esta función desglosando el rayo receptor en sus componentes de longitud de onda y acoplándolos a la fibra individual. La demultiplexación se debe hacer antes de la detección de la luz, porque los fotodetectores inherentemente son dispositivos de banda ancha y no pueden selectivamente detectar una sola longitud de onda. En un sistema unidireccional, hay un multiplexor en el lado emisor y un demultiplexor en el lado receptor. Se requerirían dos sistemas en cada extremo en las comunicaciones bidireccionales, y se necesitarían dos fibras separadas.



**Figura 2.12. Multiplexadores Y Demultiplexadores**

En un sistema bidireccional, hay un multiplexador/demultiplexador en cada extremo y la comunicación es sobre un solo par de fibras.



**Figura 2.13. Multiplexores y Demultiplexores Duplex**

Los multiplexadores y los demultiplexadores pueden ser de diseño pasivo o activo.

El diseño pasivo se basa en prismas, rejillas de difracción, o filtros mientras que el diseño activo combina dispositivos pasivos y filtros sintonizables. Los

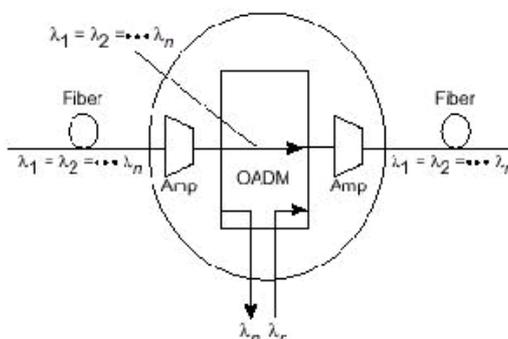
principales retos en estos dispositivos es minimizar la diafonía y maximizar la separación de canal. La diafonía es una medida de cuanto están separados los canales, mientras que la separación de canales se refiere a la posibilidad de distinguir cada longitud de onda.”<sup>11</sup>

#### **2.3.2.4.1. MULTIPLEXADORES ÓPTICOS ADD/DROP**

Entre puntos de multiplexación y demultiplexación de los sistemas WDM, hay un área en la que existen múltiples longitudes de onda. A menudo es deseable remover o insertar una o más longitudes de onda en algún punto del enlace. Un multiplexador óptico add/drop (OADM) realiza esta función. Mas que combinar o separar todas las longitudes de onda, los OADM pueden remover algunas mientras dejan pasar las restantes. Los OADMs son una parte clave en cuanto a las redes ópticas. Los OADMs son similares en muchos aspectos a los ADM de SONET, excepto que solamente las longitudes de onda ópticas son añadidas o removidas, y no hay conversión de la señal de óptico a eléctrico. En la figura siguiente hay una representación esquemática de un proceso add/drop. Este ejemplo incluye pre y post-amplificación; estos componentes pueden estar o no presentes en un OADM, dependiendo del diseño.

---

<sup>11</sup> Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica, Antonio Salavert. CISCO



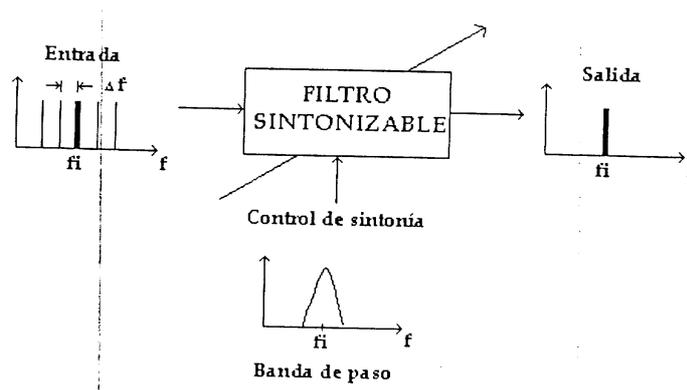
**Figura 2.14. Multiplexores Ópticos OADMs**

Hay dos tipos generales de OADMs. La primera generación es un dispositivo fijo que se configura físicamente para extraer una longitud de onda predeterminada mientras se añaden otras. La segunda generación es reconfigurable y capaz de seleccionar dinámicamente que longitudes de onda se añaden y cuales se remueven. Los filtros de película delgada han emergido como la tecnología elegida para los OADMs en los sistemas WDM metropolitanos actuales porque son menos caros y más estables.

### **2.3.2.5. FILTROS ÓPTICOS**

Una parte fundamental en las redes ópticas WDM son los filtros ópticos. Pues realizan el proceso de selección de un determinado canal en los bloques receptores cuando se trabaja con modulación en intensidad y detección directa. además de esto, aísla el ruido de emisión espontánea (ASE) generado por los amplificadores ópticos.

Un filtro óptico ajustable puede ser representado por una caja negra, según se ve en la figura 2.15, el que posee en su entrada diferentes señales, cada cual a su frecuencia óptica, y que tiene en su salida, debido al proceso selectivo, sólo una señal. El principio de funcionamiento del filtro óptico es el de la interferencia, es así que cuando un filtro se sintoniza a cierto canal la señal es reforzada mediante interferencia constructiva, mientras que las señales correspondientes a los canales restantes serán atenuadas con una interferencia destructiva.



**Figura 2.15. Representación de un filtro óptico**

Dentro del análisis de un filtro óptico deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos importantes:

- Número máximo de canales sintonizables.
- Tiempo de acceso en la sintonía del canal.
- Pérdidas causadas por inserción y diafonía.
- Atenuación.

- Controlabilidad del dispositivo.
- Dependencia del dispositivo con la polarización,
- Tamaño, consumo de potencia y ambiente de operación del dispositivo.
- Costos.

El número de canales sintonizables tal vez sea el más importante requerimiento de un filtro óptico, pues determina cuantos canales de una red WDM pueden ser seleccionados en los bloques receptores.

Se puede analizar este requerimiento sobre dos aspectos: primero en cuanto al rango al cual el filtro es ajustado y en segundo lugar en cuanto a la selectividad de respuesta en frecuencia cuando el filtro es ajustado.

En un sistema WDM el rango adecuado al cual debe ser ajustado el filtro es en la tercera ventana de transmisión, alrededor de la primera ventana y la segunda ventana.

Mientras que la selectividad de la respuesta en frecuencia determina cual debe ser el espaciamiento mínimo entre los canales, para que una vez seleccionado el canal se tengan las menores pérdidas debido al *crosstalk*.

La velocidad con la cual un filtro óptico puede ser ajustado de una frecuencia a otra, dentro de su rango de ajuste, se determina por su tiempo de acceso y también constituye un importante aspecto en el análisis de aplicabilidad del dispositivo en el sistema.

Un filtro óptico debe ser estable de tal modo que una vez ajustada una frecuencia dada, factores térmicos o mecánicos no causen un desvío en el ajuste mayor que una pequeña fracción de la longitud de onda del canal, además debe ser fácilmente reajutable para cualquier valor de frecuencia, por esto la controlabilidad del filtro es un factor importante.

Es posible clasificar de un modo general los diversos tipos de filtros, en cuanto a sus aspectos constructivos como:

- Filtros interferométricos de Fabry-Perot.
- Filtros de difracción.
- Filtros interferométricos de Mac- Zener.
- Filtros electro-ópticos.

Conviene decir, que a pesar que en muchos casos, estos dispositivos funcionan sólo como filtros, seleccionando una señal con una longitud de onda dada, también pueden actuar como dispositivos multiplexores / demultiplexores

**2.3.2.6.DCM (Dispersion Compensation Module)** – El DCM provee una corrección a todos los canales de longitud de onda en un enlace de WDM .

### 2.3.3. NORMALIZACION WDM de la ITU-T

El borrador estandar G.692 de ITU define una tabla para láser para sistemas WDM punto a punto basados en un espaciado de 100 Ghz por longitud de onda con una longitud de onda central de 1553,52 nm.

Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)	Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)	Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)
196.1	1528.77	194.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	192.8	1554.94
195.7	1531.9	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194.0	1545.32	192.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	193.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86

**Tabla 2.4. Normalización WDM de la ITU-T**

Mientras la tabla define un estándar, los usuarios son libres de usar las longitudes de onda de forma arbitraria y elegir de cualquier parte del espectro.

Además los fabricantes se pueden desviar de la tabla ampliando sus límites superior e inferior o espaciando menos las longitudes de onda, siendo el valor típico de 50 Ghz, para doblar el número de canales. Cuanto menor sea el espaciado, mayor será la diafonía. Además el impacto de algunas no linealidades de la fibra, tales como FWM, las incrementa. El espaciado de 50 Ghz también limita la máxima velocidad de datos por longitud de onda a 10 Gbps. Las implicaciones de la flexibilidad en la implementación tiene dos partes: no hay garantía de compatibilidad entre dos sistemas finales de diferentes fabricantes y hay un diseño negociable en el espaciado de las longitudes de onda entre el número de canales y la velocidad máxima.

#### **2.3.3.1.SEPARACIÓN DE CANALES**

La separación de canales nominales es la diferencia entre las frecuencias de canales adyacentes. La separación entre canales puede ser regular o irregular. La separación irregular entre canales puede utilizarse para mitigar los efectos de la FWM en fibras de tipo monomodo con dispersión desplazada.

#### **2.3.3.2. DESVIACIÓN DE LA FRECUENCIA CENTRAL.**

La desviación de la frecuencia central se define como la diferencia entre la frecuencia central nominal y la frecuencia central real.

En la desviación de frecuencia central se encuentran todos los procesos que afectan el valor instantáneo de la frecuencia central de la fuente en un intervalo

de medida apropiado a la velocidad binaria del canal. En sistemas con separación irregular de canales, los canales que se encuentran en los límites entre diferentes distancias de canales, tendrán la desviación más restrictiva de ambas.

#### **2.3.4. APLICACIONES, VENTAJAS E INCONVENIENTES DE WDM**

##### **2.3.4.1. APLICACIONES Y VENTAJAS:**

“Las principales aplicaciones en las que se puede utilizar la tecnología WDM son las siguientes:

- Redes de Larga Distancia
- Redes Intercontinentales o Internacionales.
- Redes Metropolitanas de alto tráfico.
- Redes cualquiera donde existan cuellos de botella o problemas de capacidad en el número de fibras.
- Nuevas y diferentes tipos de redes que integren WDM

El número de amplificadores en un tramo se reduce en la misma proporción en la que se multiplexa los canales, lo que aumenta la fiabilidad del sistema, aunque son más complejos y costosos. Debido a la alta potencia de los

amplificadores WDM y el bajo nivel de ruido se consiguen de hasta 600 Km. sin repetidores para 2.5 Gbps y 32 canales independientes.”<sup>12</sup>

El uso de WDM permite a los propietarios de infraestructuras dotar a la fibra ya instalada de más capacidad, casi de manera inmediata, y a los proveedores de servicios ofrecer cualquier tipo de tráfico de voz, datos y/o multimedia.

## MODELO DE TRANSPORTE (Banda Ancha)

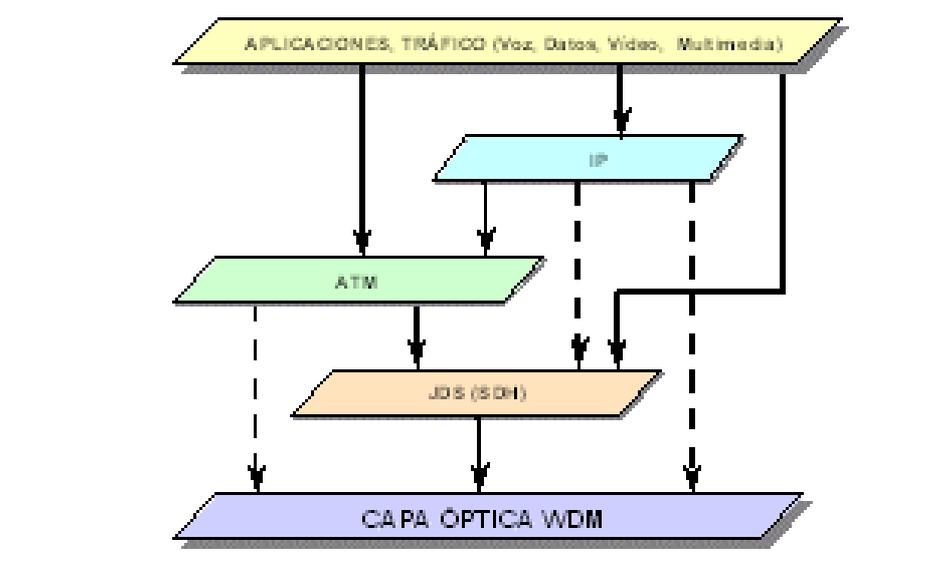


Figura 2.16. Modelo de Transporte WDM

La construcción de anillos ópticos flexibles encuentra en WDM una tecnología muy apropiada ya que se puede enviar la misma información en dos longitudes de onda distintas y monitorear en el receptor el resultado, si se produce errores

<sup>12</sup> [www.atmforum.com/pages/interworksw/dsl.html](http://www.atmforum.com/pages/interworksw/dsl.html)

en un canal se conmuta al otro de forma inmediata. El resultado es similar al que se obtiene en SDH con un anillo doble, pero utilizando dos longitudes de onda en lugar de dos fibras, lo que resulta más económico, aunque evidente que si la fibra se rompe la comunicación se corta.

#### **2.3.4.2. INCONVENIENTES DE WDM**

Estos sistemas también presentan algunos inconvenientes, aunque son mínimos, ya que no todos los tipos de fibra lo admiten, las tolerancias y ajustes de los láser y filtros son muy críticos y los componentes que utiliza son caros aunque a pesar de ello la solución es más barata que otras, y por otra parte presentan el problema de la normalización en proceso, por lo que no se puede asegurar la compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes, algo en lo que ya está trabajando la UIT – T para lograr una especificación a corto plazo.

#### **2.4 xWDM.**

La Tecnología xWDM permite que las redes se expandan con un mejor ancho de banda y transmisión de información de la red existente; que permiten enviar cualquier tipo de protocolo (conjunto de reglas y convenciones que regulan el intercambio de información entre los componentes de un sistema de comunicaciones ) encima de la red por fibra, así extendiendo la red actual o llevando a cabo una nueva.

Existen diversas técnicas de multiplexación que abarcan este tipo de tecnología xWDM; que se clasifican o se dividen de acuerdo a sus aplicaciones, ancho de banda y la distancia que se colocará la fibra óptica dentro de una red, más adelante se detallarán todos los aspectos de cada una de estas técnicas.

Estas técnicas son:

-CWDM: (Course Wavelength Division Multiplexing) Multiplexación por División en Longitud de Onda Ligera

-DWDM: (Dense Wavelength Division Multiplexing) Multiplexación por División en Longitud de Onda Densa

-WWDM:(Wide Wavelength Division Multiplexing) Multiplexación por División en Longitud de Onda Extensa

- FWDM : (Filter Wavelength Division Multiplexing) Multiplexación por División en Longitud de Onda Filtrado.

## **2.5. TÉCNICAS DE MULTIPLEXACION xWDM**

### **2.5.1. xWDM:**

xWDM hace posible convertir varias señales digitales a un rango de longitudes de onda que pueden intercambiarse en una fibra óptica ; la ventaja adicional de esta tecnología es que el usuario ya no se liga a un solo protocolo, esto habilita a los usuarios simultáneamente envíe en la red voz, datos y video. Utilizará una sola longitud de onda por el protocolo, con que es posible enviar varios de los protocolos al azar en velocidades determinadas y por el mismo par de fibra.

xWDM explican el éxito de la combinación e inserción de los sistemas en esta tecnología y las redes de área de almacenamiento (SAN)es decir, en las redes de almacenamiento. El ambiente de SAN exige protocolos de gran ancho de banda de transporte encima de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) o las redes de voz . Los ejemplos de protocolos de SAN son ESCON, Sysplex, el Intersystem Acoplado, El eslabón (ISC), FICON, Canal de Fibra y Gigabit Ethernet (GbE).

Estos sistemas pueden conectar dos sitios vía una ruta de fibra redundante, también, como una interconexión de varios sitios vía una red en anillo los datos pueden ser protegidos separadamente vía un camino redundante, a 8 longitudes de onda por la fibra óptica y puede usarse en una conexión de punto a punto a partir de los 120 Km..

xWDM ofrecen los siguientes beneficios :

- Las Redes multi-servicio;
- Sistemas modulares
- Las Redes de Zona de almacenamiento;
- La integración con las Redes SDH existentes;
- Soluciones a Problemas de Capacidad;
- La integración de CATV y Redes de Datos;

### 2.5.2.CWDM (Course Wavelength Division Multiplexing)

La tecnología CWDM (Course Wavelength Division Multiplexing) Multiplexación por División en Longitud de Onda Ligera permite enviar un número reducido de longitudes de onda en una fibra, pudiendo cumplir las demandas típicas de comunicación de elementos como el enlace entre una central telefónica y un nodo troncal (típicamente son necesarias menos de 8 longitudes de onda).



Figura 2.17.CWDM (Course Wavelength Division Multiplexing)

Un aspecto importante en CWDM es que generalmente se utilizará en distancias cortas que no requieren realizar amplificación, lo cual permite que la transmisión pueda realizarse en un amplio rango del espectro incluyendo primera (850 nm), segunda (1300 nm) y tercera ventana (1500 nm).

CWDM no usa amplificadores ópticos; pero para distancias superiores a 50 Km. se usan repetidores; permite un ahorro al lograr la simplificación de los equipos y reducir las tareas de gestión necesarias. La técnica de multiplexación CWDM consta de 18 longitudes de onda definidas en el intervalo 1270 a 1610 nm con un espaciado de 20 nm.

Los sistemas CWDM son más rentables para las aplicaciones de redes metropolitanas.

“Los sistemas CWDM admiten distancias de transmisión de hasta 50 Km.. Entre esas distancias, la tecnología CWDM puede admitir diversas topologías: anillos con distribuidor (hubbed ring), punto a punto y redes ópticas pasivas. Además, se adapta correctamente a las aplicaciones de redes metropolitanas (por ejemplo, anillos locales CWDM que conectan oficinas centrales con los principales anillos express metropolitanos (DWDM) y a las aplicaciones relativas al acceso, como los anillos de acceso y las redes ópticas pasivas.”<sup>13</sup>

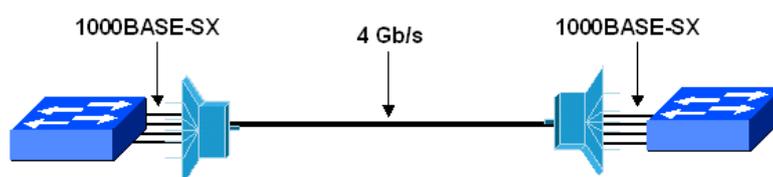
---

<sup>13</sup> [www.monografias/trabajo/adsl/opticas/\\*wdm.htm](http://www.monografias/trabajo/adsl/opticas/*wdm.htm)

Los sistemas CWDM pueden utilizarse como una plataforma integrada para numerosos clientes, servicios y protocolos destinados a clientes comerciales. Los canales en CWDM pueden tener diferentes velocidades binarias. Esta técnica se adapta más fácilmente a las variaciones de la demanda de tráfico ya que con ella se pueden añadir canales en los sistemas y liberarlos de éstos.

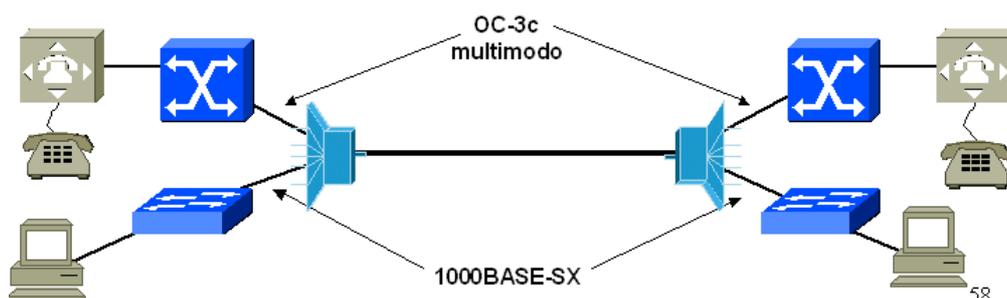
### 2.5.2.1.APLICACIONES DE CWDM

#### Aumento de capacidad:



(a)

#### Soporte de múltiples servicios:



(b)

Figura 2.18. Aplicaciones de CWDM a) Aumento de capacidad y b) Soporte de múltiples Servicios

Las aplicaciones de sistemas CWDM apuntan a aquellas donde la distancia de fibra es menor a 50Km., y no requiere amplificación óptica.

Existen diversos escenarios, además de las ya comentadas redes metropolitanas, donde CWDM constituye una opción atractiva. Por ejemplo, los sistemas de acceso de banda ancha sobre redes HFC requieren a menudo la transmisión de tráfico de retorno desde los nodos HFC hacia la cabecera situada a unos 75 Km. de distancia de éstos, siendo CWDM un candidato ideal para esta aplicación. El alcance de las transmisiones digitales banda base sobre CWDM es de hasta 75 Km., si bien en el caso de retorno analógico se tiene un alcance más reducido debido a los requisitos de relación señal a ruido. Los sistemas de acceso de bucle de abonado FTTC (fiber to the curb), FTTB (fiber to the building) o FTTH (fiber to the home), caracterizados por alcances de hasta 20 Km., constituyen otro campo de aplicación donde CWDM puede ser beneficioso.

En esta técnica permiten utilizar un espaciado de canales más amplio y equipos más baratos garantizando el mismo grado de calidad que los sistemas de fibras ópticas de largo alcance.

#### **2.5.2.2.Recomendación UIT-T para CWDM**

“La Recomendación UIT-T G.694.2, la más reciente de la serie, describe los atributos de la capa física de las interfaces ópticas. Entre las demás Recomendaciones de esta serie pueden mencionarse las siguientes:

- UIT-T G.691 — Interfaces ópticas para sistemas STM-64, STM-256 de un solo canal y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos (2000)
- UIT-T G.692 — Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos (1998)
- UIT-T G.693 — Interfaces ópticas para sistemas intraoficina (2001)
- UIT-T G.694.1 — Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (aún sin traducción al español) (2002)
- UIT-T G.957 — Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona (1999)
- UIT-T G.959.1 — Interfaces de capa física de red de transporte óptica (2001)

Recientemente, la norma UIT-T G.694.2 ha estandarizado una rejilla de longitudes de onda para CWDM con un espaciado entre canales de 20 nm. La elección de este valor no es algo accidental, sino que es el resultado de un

minucioso estudio económico que asegura una reducción significativa en los costos de los transmisores y de los filtros ópticos, así como un número razonable de canales por fibra óptica. “<sup>14</sup>

### 2.5.2.3. PLANIFICACIÓN DE CANALES EN SISTEMAS CWDM.

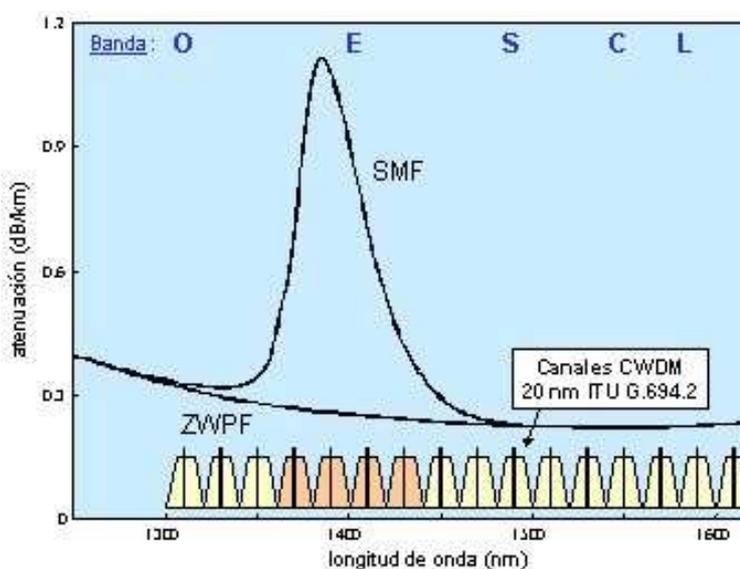


Figura 2.19. Planificación de canales en sistemas CWDM.

La ITU-T (*The International Telecommunications Union- Telecommnuications Standards Sector*) ha estandarizado la escala de longitudes de ondas a usar en los sistemas de WDM y en DWDM. Estas escalas son también llamadas planes de longitud de onda.

<sup>14</sup> UIT Recomendaciones, Sector de Normalización de las Telecomunicaciones, Marzo 2003

El uso de una escala definida significa que los fabricantes del láser, ya cuentan con valores fijos a los cuales deben de trabajar sus componentes. Ya pueden construir filtros y el láser a una especificación común.

El espacio entre los canales es un intervalo entre longitudes de onda. Entre más apretado estén los espacios entre las longitudes de onda, es más difícil construir sistemas de láser con tolerancia a longitudes de onda apretadas y filtros que separen las  $\lambda$ s.

La banda C ( Figura 2.19) requiere de 50GHz de separación moviéndose de 32 a 80 longitudes de onda. Conforme la tecnología avanza se hace más posible el hecho de poder meter más longitudes de onda. Existe otra ventana llamada banda L, la cual ha probado ser capaz de transportar 80  $\lambda$ s. La fibra existente también es capaz de soportar esta banda L (Figura 2.18) aunque no fue diseñada o especificada para ese uso.

Hoy en día los esfuerzos de investigación se están enfocando en una nueva banda llamada banda S (Figura 2.19), la cual tiene mayor espacio de banda, esto significa que las longitudes de onda tendrán más espacio entre ellas y como consecuencia el costo de los sistemas de láser será reducido.

### **2.5.3.DWDM**

#### **2.5.3.1. DEFINICIÓN**

DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) es una técnica usada para incrementar la capacidad de transmisión de una fibra óptica, esto se logra transmitiendo múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. Cada señal obtiene una única longitud de onda, o color en el espectro de colores de la luz. Después todas las señales son transmitidas juntas y combinadas como una sola señal.

DWDM es WDM de banda angosta, que generalmente involucra ocho o más longitudes de onda de luz. El primer sistema DWDM fue diseñado para aplicaciones de intercambio de una red long-haul. Por long-haul nos referimos a distancias arriba de los 100 Km.

Sistemas contemporáneos de uso comercial utilizan hasta ochenta longitudes de onda, y en equipos de próximos a ser lanzados soportan hasta 160 longitudes de onda, y con una mucha mayor capacidad han sido demostrados en laboratorio. Las longitudes de onda utilizadas se ubican en el rango de los 1550 nm, este rango nos permite el uso de la tecnología de amplificadores de erbio dopado EDFA.

En redes *long-haul*, la combinación de DWDM y los amplificadores de línea nos brindan una transmisión costo efectiva muy buena, ya que se pueden transmitir tasas de *bit* agregadas a través de una sola fibra en largas distancias. Las largas distancias en redes *long-haul* hacen prácticamente imposible el colocar mayor cantidad de fibra óptica. Los proveedores de servicios de larga distancia ganan capacidad adicional utilizando su infraestructura existente.

Los sistemas DWDM trasladan la longitud de onda de la salida de equipo SONET/SDH, a una longitud de onda específica, estable, y angosta en el rango de los 1550 nm para que pueda ser multiplexada con otras señales similares. El dispositivo que realiza esta translación es a veces llamado trasladador de longitud de onda o *transponder*.

Un *transponder* puede funcionar como un regenerador de SONET donde su encabezado esté basado en estándares.

### **2.5.3.2. TIPOS DE EQUIPOS DWDM**

El objetivo de DWDM es multiplicar la capacidad de transmisión de datos a través de una fibra óptica. Actualmente existen dos tipos de equipos.

- Equipos para redes de larga distancia *long-haul*.
- Equipos para redes metropolitanas.

**2.5.3.2.1. Equipos de redes long-haul,** esta tecnología es de suma importancia, debido a que muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones estaban muy limitados al crecimiento, por que el expandir sus redes era sumamente costo y retardado. Se tenía que pensar en tender fibra óptica y no nada más hacia las zonas donde se quería llegar, si no también crecer en el *backbone* de la red para evitar cuellos de botella.

Con DWDM es sumamente sencillo expandir estas redes existentes y aumentar la capacidad de transporte, lo cual se traduce en poder brindar más servicios, poder llegar a más clientes y ser más competitivos.

La propuesta de DWDM es sencillamente aumentar la capacidad de la fibra existente, y mantener la tecnología instalada, simplemente es añadir equipos con esta tecnología en puntos estratégicos e inmediatamente tener mucha más capacidad de transporte aun costo accesible, esto permite reducir los costos y brindar la oportunidad de disminuir los precios al usuario de estos servicios.

**2.5.3.2.2 Los equipos de redes metropolitanas,** al igual que los equipos para redes long-haul nos van a ayudar a aumentar la capacidad de las fibras ópticas tendidas en las ciudades, con esto los proveedores de servicios son capaces de rentar no solamente fibras oscuras sino también entran a un

nuevo nicho de oportunidades como lo son la renta de lambdas o longitudes de onda.

Con la tecnología que existe actualmente se pueden transmitir información a velocidades de 10 Gbps a través de cada longitud de onda, y ésto es una ventana de oportunidades tanto a empresas del sector corporativo como a *carriers* de volverse más competitivos en sus negocios adoptando esta tecnología y hacer uso de aplicación demandantes de ancho de banda.

Esta tecnología es independiente al protocolo, con lo cual simplifica las comunicaciones de las empresas debido a que todavía se manejan una gran diversidad de éstos.

### **2.5.3.3.APLICACIONES:**

“Las aplicaciones que actualmente se están usando son:

- Sector educación que se compone de escuelas distritales, universidades, colegios. En este sector se ha visto que las aplicaciones más comunes son redes convergentes de voz, datos y video. Con las cuales destacan aplicaciones como educación a distancia entre diferentes campus de las universidades, efectuando investigaciones y trabajando en diferentes sitios sobre un mismo archivo al mismo tiempo.

- Otra aplicación que también destaca es la de tener un sitio espejo para contingencias en donde se tiene una réplica de las bases de datos tanto académicas como de la biblioteca
  
- Sector gobierno que se compone de instituciones federales, estatales y municipales. En este sector las aplicaciones que se ven beneficiadas con esta tecnología son Redes convergentes de voz, datos y video, en donde se mejoran las comunicaciones gubernamentales con los ciudadanos y entre las diferentes dependencias.
  
- Aplicaciones de SAN (*Storage Area Network*), que con DWDM es posible interconectar dispositivos de almacenamiento masivo y verlos como una sola entidad.
  
- Sector financiero se compone de todas las instituciones de crédito y financieras. En este sector después del 11 de septiembre de 2001 surge la necesidad de contar con *sites* de contingencia y en muchos países se ha decretado por ley la necesidad de contar con un plan de recuperación de desastres, esta es una aplicación típica para esta tecnología, debido a que se forma un anillo de fibra óptica entre dos centros de datos y se mantienen operado en línea ambos sitios. En caso de que uno falle el otro continúa con la operación.

- Sector Salud compuesto por hospitales e instituciones de salud. Esta tecnología permite la distribución de imagenología, expedientes médicos, así como intervenciones quirúrgicas a distancia.”<sup>15</sup>

#### 2.5.3.4.EVOLUCIÓN DE DWDM

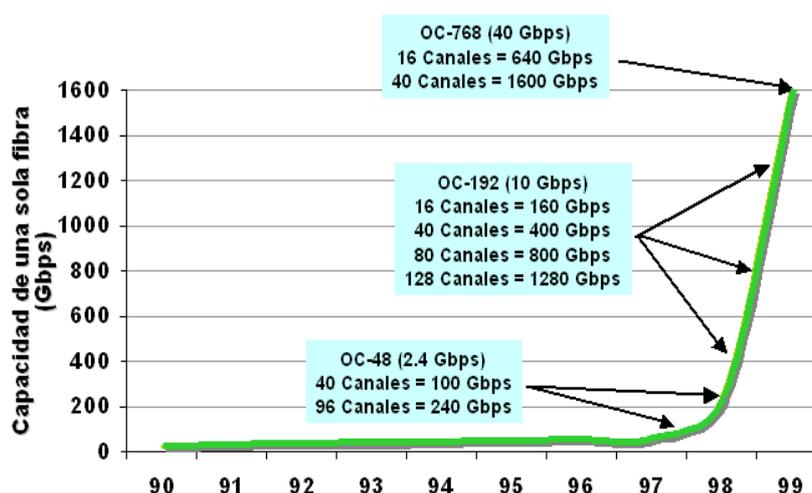


Figura 2.20 Evolución de DWDM

La evolución de la tecnología DWDM se ha ido incrementando en los últimos años; como se puede observar en la figura desde los años 90 esta tecnología estaba comenzando, hasta casi los finales de los 90 es decir por el 97 se ve un auge incrementado su ancho de banda por una sola fibra; en la actualidad tenemos una capacidad por canal de 10 a 40 Gbps por canal y con un ancho de banda > a 1 Tbit/s y que cubre una distancia de miles de Kilómetros.

<sup>15</sup> [www.conelectronica.com/articulos/xdsl30.htm](http://www.conelectronica.com/articulos/xdsl30.htm)

### 2.5.3.5.VENTAJA DE DWDM

En la figura 2.21., en este claro ejemplo nos dice claramente la ventaja que nos ofrece la tecnología DWDM con relación a una red Sonet/SDH tradicional; se reduce la instalación de equipos consistentemente en los repetidores de la primera red, para cubrir una distancia de 360 Km. a un mismo ancho de banda para tener la misma señal en toda la red; mientras que en la segunda red de DWDM se mantiene el mismo ancho de banda pero sin muchos repetidores simplemente se coloca un amplificador tipo EDFA.

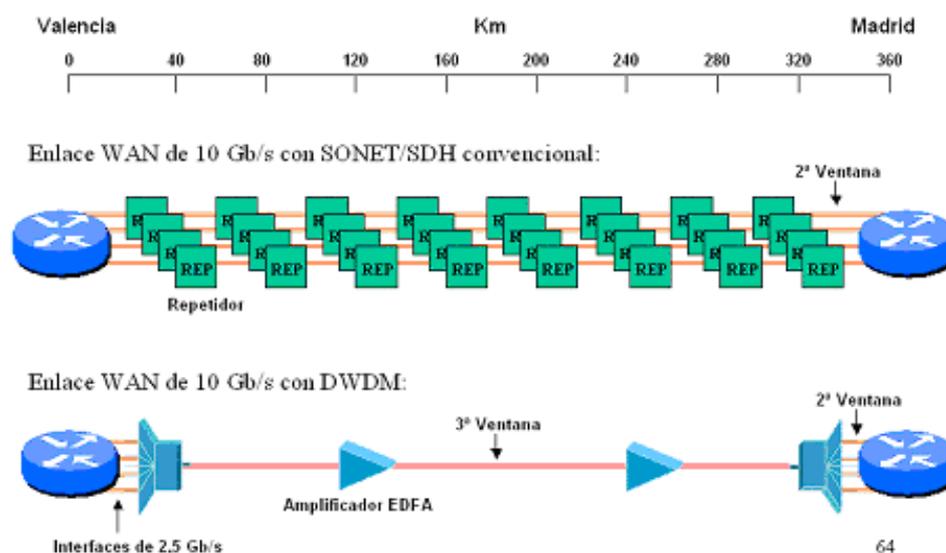


Figura 2.21. Ventaja de DWDM

### 2.5.3.6.FUNCIONES DEL SISTEMA DWDM

“El DWDM consta de un pequeño número de funciones de nivel físico. Cada canal funciona con una longitud de onda específica.

La longitud de onda se expresa (usualmente en nanómetros) como un punto absoluto en el espectro electromagnético. La luz efectiva a una determinada longitud de onda se confina estrechamente alrededor de su longitud de onda central.

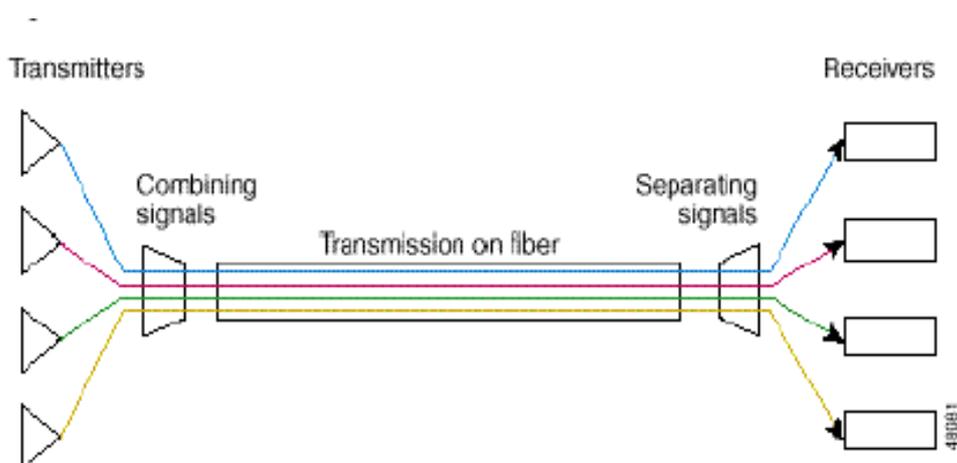


Figura 2.22. Funciones del sistema DWDM

El sistema realiza las siguientes funciones principales:

- **Generación de la señal.** La fuente, un láser de estado sólido, debe suministrar una luz estable dentro de un ancho de banda específico y estrecho, que transporta los datos digitales modulados como una señal analógica.
- **Combinación de señales.** Los modernos sistemas DWDM emplean multiplexadores para combinar las señales. Hay alguna pérdida inherente asociada a la multiplexación y demultiplexación. Esta pérdida depende del número de canales pero se puede mitigar con amplificadores ópticos que amplifican todas las longitudes de onda a la vez sin conversión eléctrica.
- **Transmisión de señales.** Los efectos de diafonía y la degradación o pérdida de la señal óptica debe ser tenido en consideración en la transmisión por fibra óptica. Estos efectos pueden ser minimizados mediante el control de las variables tales como el espaciado entre canales, la tolerancia de la longitud de onda, y los niveles de potencia del láser. En un enlace de la transmisión, se puede necesitar una amplificación de la señal.
- **Separación de las señales recibidas.** En el lado del receptor, las señales multiplexadas deben ser separadas. Aunque esta tarea parece ser simplemente el opuesto a la combinación de señales, en la actualidad es técnicamente más difícil.

- **Recepción de señales.** La señal desmultiplexada es recibida por un fotodetector.

Además de estas funciones, un sistema DWDM también debe estar equipado con interfaces en el lado cliente para recibir la señal de entrada. Esta función la realizan los transponders. En el lado DWDM son las interfaces a la fibra óptica que enlazan a los sistemas DWDM.”<sup>16</sup>

#### **2.5.3.7. COMPARACIÓN DE CWDM CON DWDM**

La tecnología CWDM es especialmente atractiva debido a su bajo costo. En comparación con DWDM, los sistemas CWDM proporcionan ahorros del orden de un 35% a 65%. Por ejemplo, en la figura 2.23 se muestran los costos relativos de ambas tecnologías calculados para un sistema consistente en un anillo protegido de 16 canales, con un hub y cuatro nodos, cada uno de los cuales manejando 4 longitudes de onda. El ahorro proporcionado por CWDM (hasta un 40% en este caso) se debe a la reducción de costos de los láseres sin necesidad de control de temperatura y al menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Básicamente, la mayor separación entre canales de los sistemas CWDM permite que las longitudes de onda de los láseres DFB puedan sufrir derivas con los cambios de temperatura, evitando de este modo la necesidad de emplear controladores de temperatura. Esto trae consigo un

---

<sup>16</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

ahorro de espacio, simplifica el empaquetamiento del láser y reduce además el consumo de potencia (un valor medio de 0,5 W para un láser CWDM en comparación con más de 2 W para un transmisor láser DWDM conforme a la rejilla de la UIT).

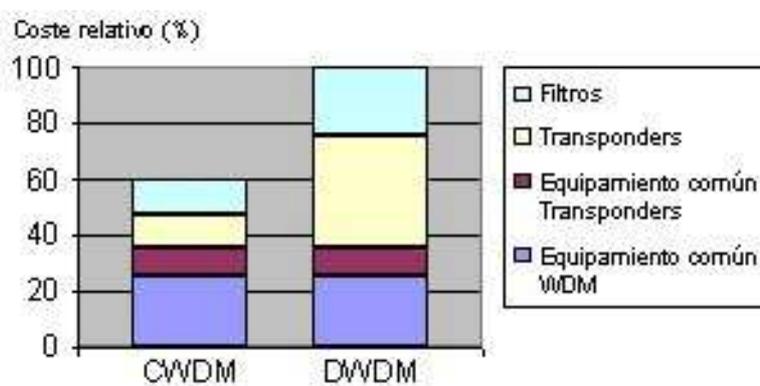


Figura 2.23. Costos relativos CWDM vs DWDM.

#### 2.5.4.FWDM (Filter Wavelength Division Multiplexing)

El multiplexor de la división de la longitud de onda del filtro (FWDM) se basa en la tecnología y el metal del filtro de la película fina que enlaza el empaquetado micro de la fibra óptica. Ofrece la pérdida baja de la inserción, alto aislamiento del canal, estabilidad termal excelente y ofrecen una estabilidad mecánica.

Estos componentes se han usado extensivamente en EDFA, y el amplificador de Raman, tienen una buena resistencia a los factores del medio ambiente.

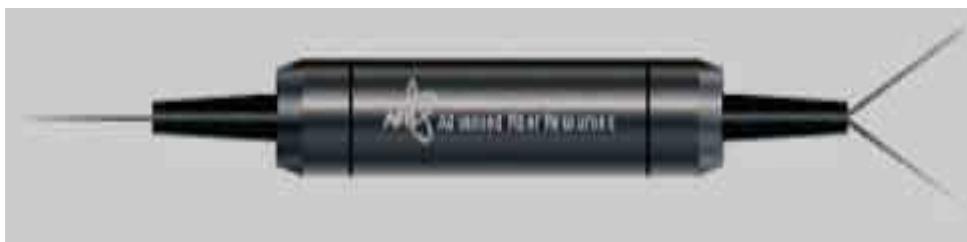


Figura 2.24. FWDM Filter Wavelength Division Multiplexing)

#### 2.5.4.1.CARACTERÍSTICAS Y USOS.

Características:	Usos:
Alto aislamiento del canal	Sistema denso del WDM
Pérdida de vuelta baja	Amplificador de la fibra óptica
Pérdida baja de la inserción	Acoplamientos fibra ópticos de CATV
PDL Bajo	Instrumentos fibra ópticos
Altamente estable y confiable	

Tabla 2.5. Características y Usos de FWDM.

#### 2.5.4.2.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE FWDM

ESPECIFICACIONES					
PARAMETROS		UNIDAD	VALORES		
Pasa Banda	El Rango de la longitud de onda	nm	1270 - 1350(1530-1600)	1450 - 1490(1530-1580)	1500 - 1520(1530-1570)
	Max. La Pérdida de la inserción	dB	0.4	0.4	0.5
	Typ. La Pérdida de la inserción	dB	0.6	0.6	0.7
	Min. El aislamiento	dB	35	30	35
	Typ. El aislamiento	dB	30	25	30
Banda de Reflexión	El Rango de la longitud de onda	nm	1530 - 1600(1270-1350)	1530 - 1580(1450-1490)	1530 - 1570(1500-1520)
	Max. La Pérdida de la inserción	dB	0.4		
	Typ. La Pérdida de la inserción	dB	0.5		
	Min. El aislamiento	dB	12		
	Typ. El aislamiento	dB	10		
La Pérdida del Retorno óptico		dB	>=50		
Max.PDL		dB	0.1		
Typ. PDL		dB	0.05		
La Estabilidad termal		dB/°C	<=0.005		
Max. el poder óptico		mW	300		
Max. la carga tensor		N	5		
El Tipo de fibra			SMF-28		
La Temperatura del Funcionamiento		°C	-5 to +70		
La Temperatura del almacenamiento		°C	-40 to +85		

**Tabla 2.6.Especificaciones Técnicas de FWDM**

Para tener datos técnicos de este tipo de filtro debe tener en cuenta la siguiente información:

FWDM	AAAA (Longitud de onda)	B (Tipo de conector)	C (Tipo de fibra )	D (La longitud de onda)
	3155 - 1310 Paso / 1550 Reflejan	1 - FC/UPC	B - 250um fibra desnuda	1 - 1.0 metro
	5531 - 1310 Reflejan / 1550 Paso	2 - ST/UPC	L - 900um tubo suelto	S - Especifica
	4855 - 1480 Paso / 1550 Reflejan	3 - LC/UPC		
	5548 - 1480 Reflejan / 1550 Paso	4 - FC/APC		
	5155 - 1510 Reflejan / 1550 Paso	5 - SC/APC		
	5551 - 1510 Reflejan / 1550 Paso	6 - SC/UPC		

### 2.5.5. WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing)

Existe una variante de CWDM denominada WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*) que utiliza la ventana de transmisión de los 1400 nm para transmitir a distancias cortas, de 100m a 300m , se puede trabajar en la primera ventana sobre fibra multimodo; en la segunda ventana se pueden alcanzar distancias de 10 Km. sobre fibra monomodo y en la tercera ventana se pueden alcanzar los 40 Km..

#### 2.5.5.1.ARQUITECTURAS WWDM

Este tipo de técnica de multiplexación se usa en las Arquitecturas Ópticas FTTH/B (Fibra para la casa/ construcción), que trabajan con un ancho de banda >> a 10 Mbps; que trabaja con la Tecnología -Ethernet con ( EPON), teniendo algunas ventajas que a continuación se se menciona:

- Eliminan la conversión ATM/ IP en la conexión WAN-LAN.

- Disminuye la complejidad de los equipos.
- EPON es más eficiente en el transporte de tráfico basado en IP.
- Disminuye el costo de equipos, costos operativos, y simplifica la arquitectura.

La Ethernet óptica o EPON en sus variantes Punto a Punto (POP) y Punto a Multipunto (POMP) es adecuada para acceso local.

En la figura 2.25. tenemos una red WWDM EPON w/ Standard SMF, donde se enlaza desde un centro de datos, hasta los usuarios o residentes a una distancia de 650 Km., con un ancho de banda de 110 Gbps; es decir tiene 11 longitudes de onda con un ancho de banda de 10 Gbps cada uno, usando dos fibras para 11 abonados. Con un tipo de fibra especial que tiene características óptimas de atenuación y dispersión alrededor de 1550 nm.

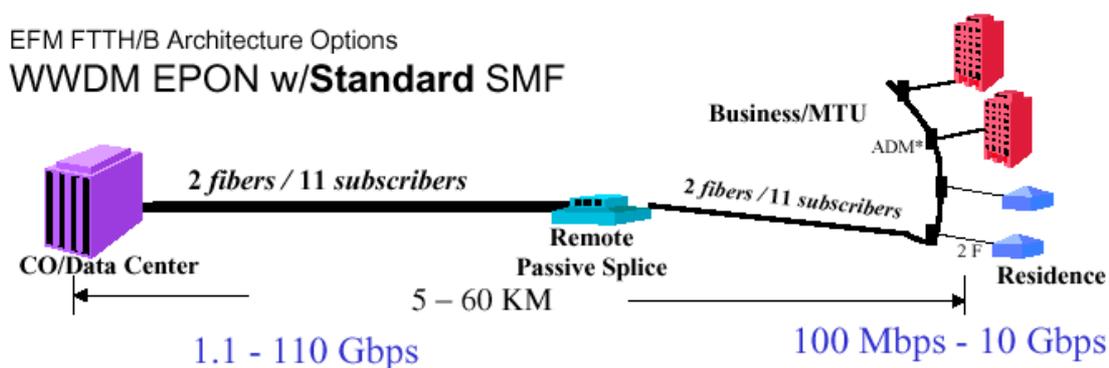


Figura 2.25. Red EPON WWDM Standard SMF.

En la otra figura 2.26. observamos que se usa un multiplexor WWDM que tiene 11 longitudes de onda a una salida, mediante un par de fibra óptica; a donde llega a una unión remota pasiva (RPS) es el que permite una transmisión duplex, y por último llega a un multiplexor Add/Drop (dispositivos capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma; también permiten introducir canales a mitad de fibra.) donde llegan finalmente a los abonados.

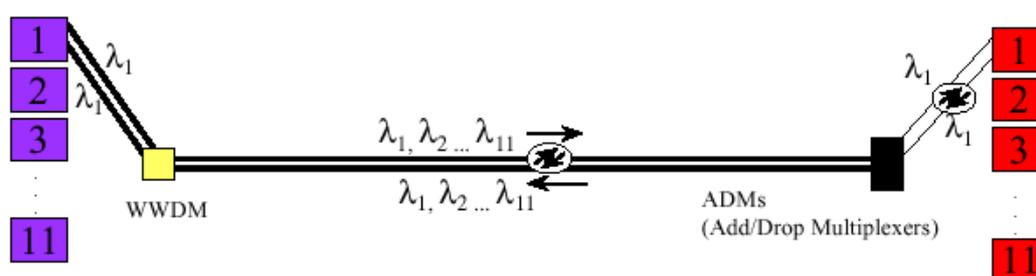


Figura 2.26. WWDM Aplicada en una red EPON.

Aplicando este sistema se tiene algunos beneficios:

- Usa 30% menos fibras en el alimentador
- Reduce espacio en la instalación de los equipos.
- WWDM mejora el empaquetamiento de datos.
- Reduce el costo del sistema instalado en un 10%

En conclusión este tipo de tecnología y multiplexación reduce el costo de equipos y espacio físico en la infraestructura de una red EPON (Ethernet Red Optica Pasiva).

En la normalización de la ITU se usa las recomendaciones G.652.B G.652.C

Se tiene las siguientes arquitecturas WWDM EPON:

- 11 WWDM EPON (Para 11 abonados con un ancho de banda de 110 Gbps)
- 16 WWDM EPON (Para 16 abonados con un ancho de banda de 160 Gbps).

## 2.6. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS TÉCNICAS DE MULTIPLEXACION

### xWDM

Aplicación / parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance	WWDM	WDM
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160	4-16	2-8
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S	O,E,S,C,L	O, E, S,
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)	20 nm (2500 GHz)	3.2 nm ( 400 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s	2,5 Gbit/s	2,5 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s	20-40 Gbit/s	20-40 Gbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB	cooled DFB	cooled DFB	uncooled DFB	uncooled DFB
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG	TFF	TFF
Distancia	hasta 80 Km.	cientos de Km.	miles de Km.	hasta 60 Km.	cientos de Km
Costo	bajo	medio	Alto	Bajo	medio
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman	Ninguna	EDFA

Tabla 2.7. Comparativa entre tecnologías WDM según el tipo de Aplicación.

## **CAPITULO III**

### **ESTUDIO DE LAS REDES OPTICAS DWDM.**

#### **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)**

##### **3.1.DEFINICION DE DWDM**

Los cambios en las redes de Telecomunicaciones, la globalización y diferentes factores, han modificado entre otros; muchos aspectos de las redes de Acceso y transporte que dan servicio a diversos mercados y clientes así como múltiples aplicaciones.

Los servicios demandados en la actualidad son muy diferentes a los que existían cuando muchas redes de fibra óptica fueron construidas, ello ha motivado la necesidad de mas capacidad y ancho de banda sobre las fibras, esto para optimizar al máximo cada fibra instalada en las redes actuales; naciendo una tecnología que cubra todas estas necesidades como la DWDM.

DWDM ( Dense Wavelength Division Multiplexing) la Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda, (Figura 3.1) es una técnica de transmisión por

fibra óptica; esta involucra el proceso de multiplexación de varias señales con diferentes longitudes de onda , para transmitir datos, voz y video a través de una sola fibra .



**Figura3.1.DWDM (Dense Wavelength Wavelength)**

“DWDM (Dense WDM) es la tecnología que proporcionará conexiones entre los elementos de servicio a altas velocidades sobre las plantas de fibra existentes y además proporcionará el próximo paso en la evolución de las infraestructuras de las redes. Una red óptica DWDM de transporte proporciona una alta capacidad por fibra y una alta capacidad por conexión. Se dice que esta técnica es densa porque el espaciado utilizado es igual o menor a 200 GHz. Los sistemas DWDM pueden soportar un gran número de servicios y una gran cantidad de longitudes de onda en una misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2,5 Gbps y 10 Gbps. Cada longitud de onda DWDM proporciona una conexión que puede transportar cualquier

protocolo con una velocidad de bit entre 50 Mbps y 2.5 Gbps o más. Estas longitudes de onda se pueden multiplexar con otras longitudes de onda y añadir, sacar o conmutar en la capa óptica, eliminando la necesidad de manipular el ancho de banda. La red DWDM proporciona:

- La separación de longitudes de onda, transportando diferentes tipos de servicio (TDM, ATM, IP,...) permitiendo una diversidad de conexiones a elementos de servicio apropiados.
- La adición, sustracción de longitudes de onda multiplexadas.
- Supervivencia de la capa óptica en caso de fallos de la red.
- La multiplexación de longitudes de onda en líneas de fibra óptica como preparación para transportar tráfico agregado de 80 Gbps o más.
- El protocolo y la velocidad en una longitud de onda dada se pueden cambiar en el acto sin alterar las infraestructuras de transporte dándole a la red la capacidad de responder rápidamente a los cambios de servicio y crecimiento. “<sup>1</sup>

Al contrario que SONET, cuyos ADM (OC-48) necesitan terminaciones OC-48 y deben pasar por una conversión electroóptica, los ADM DWDM permiten que el

---

<sup>1</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

tráfico pase ópticamente, eliminando la conversión electroóptica, reduciendo el coste y aumentando la funcionalidad de la red.

La flexibilidad de la red DWDM se deriva de la independencia del protocolo y de la velocidad. También maximiza la utilización de la planta de fibra existente, acomodando el crecimiento de los servicios nuevos y los existentes, y utilizan mejor el ancho de banda.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE DWDM

- Incrementa la velocidad de transmisión de datos, voz y video. Es decir que en un solo canal se tiene en este ejemplo 4  $\lambda$  (longitudes de onda) con un ancho de banda de 10Gb/s cada uno. (Figura 3.2)



Figura3.2. Incremento de Velocidad con DWDM

- Incrementa el número de canales DWDM mediante disminución del interespaciado entre canales (<25Ghz).(Figura 3.3)

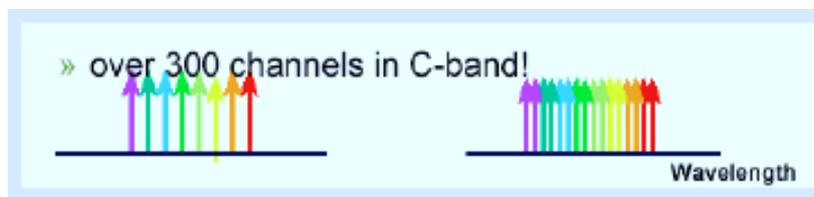


Figura 3.3. Incremento de canales con DWDM

- Opera en diferentes bandas L y S

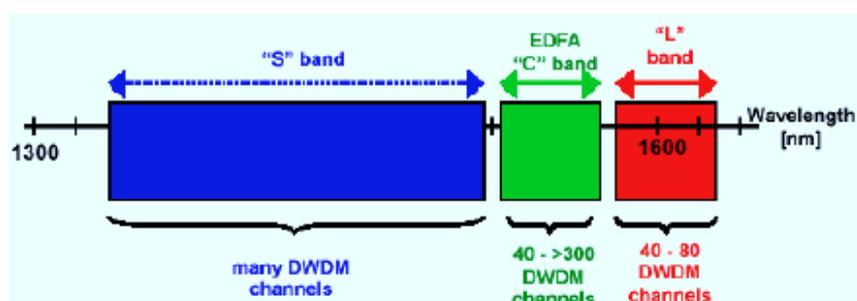


Figura 3.4. Bandas que opera DWDM

La ITU-T (*The International Telecommunications Union- Telecommnuications Standards Sector*) ha estandarizado la escala de longitudes de ondas a usar en los sistemas de WDM y en DWDM. Estas escalas son también llamadas planes de longitud de onda. (Figura 3.4)

El uso de una escala definida significa que los fabricantes del láser, ya cuentan con valores fijos a los cuales deben trabajar sus componentes. Ya pueden construir filtros y el láser a una especificación común.

El espacio entre los canales es un intervalo entre longitudes de onda. Entre más apretado estén los espacios entre las longitudes de onda, es más difícil construir sistemas de láser con tolerancia a longitudes de onda apretadas y filtros que separen las longitudes de ondas.

“La banda C requiere de 50GHz de separación moviéndose de 32 a 80 longitudes de onda. Conforme la tecnología avanza se hace más posible el hecho de poder meter más longitudes de onda. Existe otra ventana llamada banda L, la cual ha probado ser capaz de transportar 80 longitudes de ondas. La fibra existente también es capaz de soportar esta banda L aunque no fue diseñada o especificada para ese uso.

Hoy en día los esfuerzos de investigación se están enfocando en una nueva banda llamada banda S, la cual tiene mayor espacio de banda, esto significa que las longitudes de onda tendrán más espacio entre ellas y como consecuencia el costo de los sistemas de láser será reducido.”<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> [www.embratel.com.br](http://www.embratel.com.br)

La escala para DWDM define un mínimo espacio de 50, 100, o 200 GHz en el dominio de la frecuencia. El espacio de 200GHz es mostrado en el siguiente diagrama (Figura 3.5).

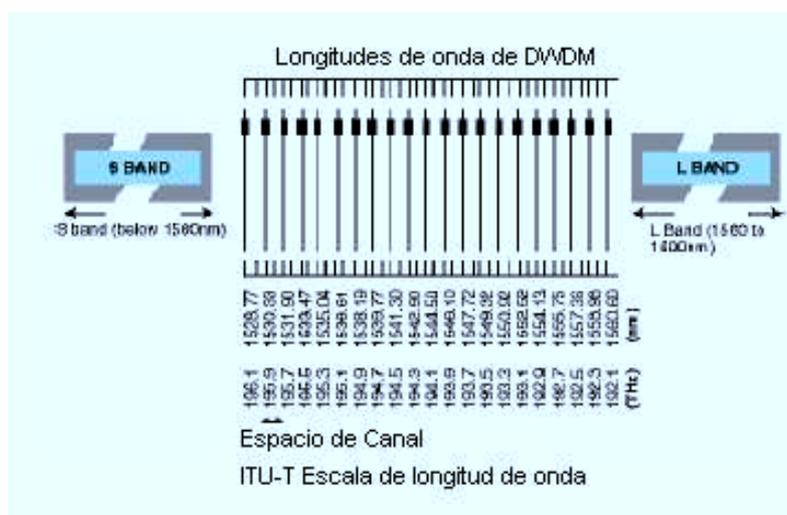


Figura 3.5. Escala de longitud de onda de DWDM

### 3.3.DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM

WDM empezó a finales de la década de 1980 usando las dos longitudes de onda muy espaciadas, 1310 nm y 1550 nm, a veces llamado WDM de banda ancha. Una de las fibras se usa para transmitir en un sentido y la otra en el sentido contrario. Es la disposición más eficiente y la que se encuentra normalmente en los sistemas DWDM.

“A primeros años de la década de 1990 vino la segunda generación de WDM, a veces llamada WDM de banda estrecha en que se usaban de 2 a 8 canales. Ahora estos canales están espaciados en un intervalo de unos 400 Ghz en la ventana de 1550 nm. A mediados de la década de 1990 los sistemas DWDM que estaban emergiendo consistían de 16 a 40 canales y un espaciado de 100 a 200 Ghz.

A finales de la década de 1990 los sistemas DWDM han evolucionado hasta el punto que son capaces de tener de 64 a 160 canales en paralelo y espaciados cada 50 o 25 Ghz.

El incremento de la densidad de los canales de la tecnología DWDM ha tenido un dramático impacto en la capacidad de transporte de la fibra, En 1995 cuando los primeros sistemas de 10 Gbps aparecieron (Figura 3.6), la tasa de incremento en capacidad fue de un múltiplo lineal de cuatro veces cada cuatro años.”<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

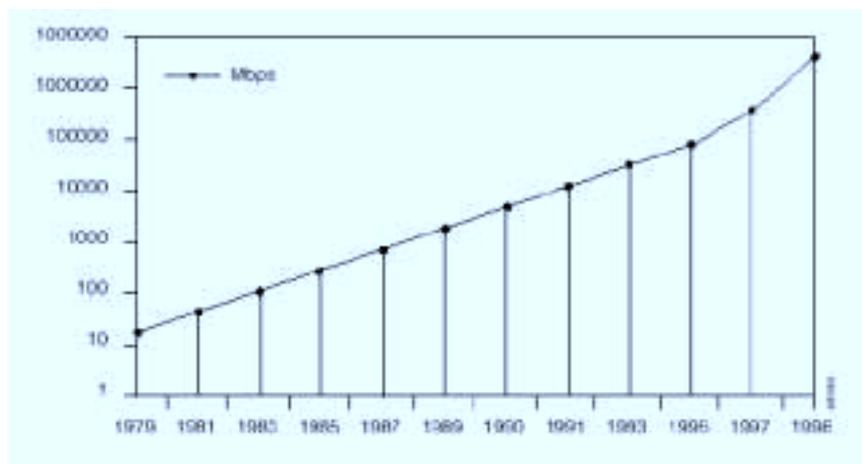


Figura 3.6. Crecimiento en la capacidad de fibra.

### 3.4.SISTEMA DWDM.

Los componentes más importantes de un sistema DWDM son los transmisores, receptores, amplificadores de fibra dopados de erbio, multiplexores DWDM y demultiplexores DWDM. (todos estos elementos se detallaron en el Capítulo II).

En la figura 3.7. se muestra la estructura típica de un sistema DWDM.

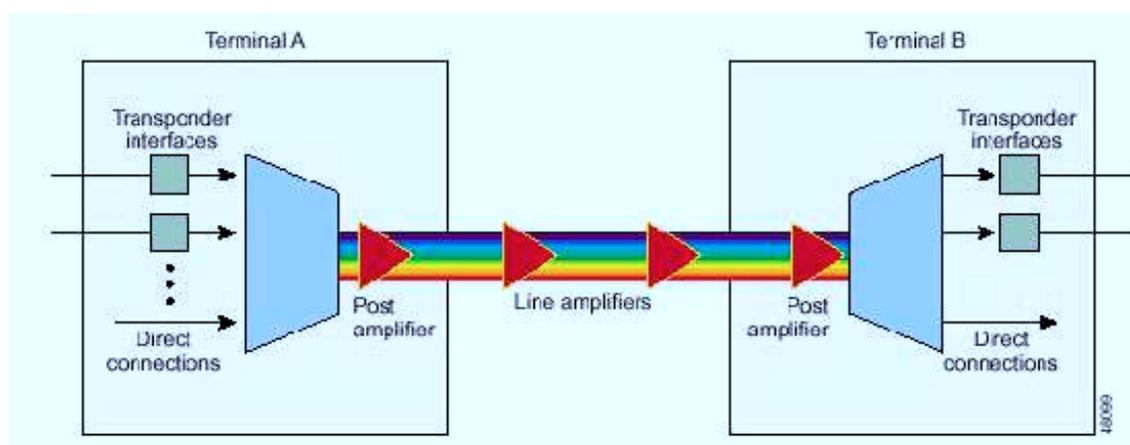


Figura3.7.Diagrama de Bloques de un Sistema DWDM.

“Los pasos siguientes describen el sistema de la figura anterior:

1. El transponder (traslada la longitud de onda de la salida de equipo , a una longitud de onda específica, estable, y angosta en el rango de los 1550 nm para que pueda ser multiplexada con otras señales similares.) acepta la entrada en la forma de un láser estándar monomodo o multimodo. La entrada puede venir de distinto medio físico y diferentes protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM.
3. Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada por la fibra. El sistema también puede incluir la posibilidad de aceptar señales ópticas directas al multiplexador; tales señales pueden venir, por ejemplo, de un satélite.
4. Un post-amplificador refuerza la señal óptica a la salida del sistema (opcional)
5. Los amplificadores ópticos se usan a lo largo del enlace óptico según necesidades (opcional)
6. Un pre-amplificador refuerza la señal antes de que entre en un extremo del sistema (opcional)

7. La señal de entrada es demultiplexada en longitudes de ondas DWDM individuales (o longitudes de onda)

8. Cada longitudes de onda individual DWDM es mapeada según el tipo de salida requerido (por ejemplo, fibra monomodo OC-48) y enviada a través del transponder. “<sup>4</sup>

**3.4.1. Espaciamento de Canal:** La separación mínima de frecuencia entre dos señales diferentes multiplexadas es conocida como el espaciamento de canal. Los factores que controlan el espaciamento de canal son los amplificadores ópticos de banda ancha y, la capacidad del receptor en identificar dos longitudes de onda cercanas dará el espaciamento límite entre ambas. Ambos factores finalmente restringen el número de longitudes de onda únicas que pasan a través del amplificador.

**3.4.2. Dirección de la señal:** En una fibra óptica se puede transmitir señales en ambas direcciones. Basada en esta característica, un sistema DWDM puede implementarse de dos maneras:

---

<sup>4</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

**3.4.3. Unidireccional:** Múltiples longitudes de onda o longitudes de ondas viajan en la misma dirección en una fibra óptica. Se utilizan dos fibras para tener tráfico en dos sentidos. (Figura3.8)

Las ventajas de DWDM unidireccional son:

- Utilización más eficiente de la capacidad disponible.
- Generalmente es más fácil para diseñar e instalar.
- Puede no requerir una banda de guarda entre los dos conjuntos de longitudes de ondas para eliminar el *crosstalk*.

**3.4.4. Bidireccional:** Sólo se utiliza una sola fibra para tener tráfico en dos sentidos. El sistema bidireccional utiliza la mitad de las longitudes de ondas para transmitir en un sentido y la otra mitad para el otro sentido sobre la misma fibra. (Observar la Figura3.8)

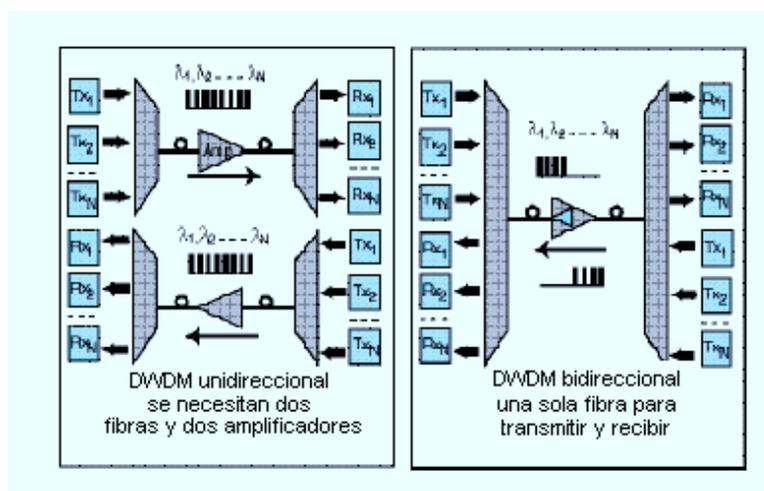


Figura 3.8. Sistema unidireccional y bidireccional DWDM

Las ventajas de DWDM bidireccional son:

- Se utiliza una sola fibra, en consecuencia es más barato.
- Puede ser configurado para manejar tráfico asimétrico. Por ejemplo un número de longitudes de ondas puede ser usado en una dirección y otro número para la otra dirección.

**3.4.5. Rastreo de la Señal:** Es el procedimiento de detectar si una señal alcanza el destino correcto en el otro fin. Esto ayuda a seguir la señal de luz a través de toda la red, y puede lograrse añadiendo información extra sobre una longitud de onda, usando un receptor electrónico para extraerla desde la red y para inspeccionar errores. El receptor da los informes de la señal al transmisor.

### **3.5.SINCRONIZACION**

“Las redes SONET / SDH utilizan actualmente la multiplexación por división de tiempo (TDM). Los multiplexores Add/Dropp (ADM) y el transponder proporcionan la sincronización necesaria en el ruteo, esto asegura la calidad y garantiza la salida apropiada de datos, pero puesto que los sistemas DWDM utilizan la multiplexación de diversas longitudes de onda, ninguna relación de sincronización existe en el sistema. La necesidad de un sistema de reloj, similar a uno usado en SONET / SDH está ausente.

Los numerosos regeneradores y otros dispositivos en el camino de la señal introducen el *Jitter*; este término se refiere a la variación de fase en una señal óptica, si la variación es menor a 10 Hz el término usado es *wander*.

Las señales con *Jitter* no pueden ser muestreadas adecuadamente. En situaciones extremas un muestreo pobre puede resultar en una mala interpretación de la entrada de la señal. El *Jitter* y el *wander* también pueden ser causado por un sobre flujo o un sub-flujo.

El límite teórico para un correcto muestreo en una alta frecuencia de *Jitter* es la mitad del ancho de bit.

Los relojes de los elementos de la red como regeneradores, multiplexores, etc., son una fuente posible del origen del *Jitter*

La sincronización se puede utilizar para asegurar la calidad de las señales transmitidas en cada nodo.”<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

Los terminales SONET / SDH y ADMs tienen una especial sincronización en los puertos de salida, que proporcionan la sincronización a los clientes, ésta se refiere a veces como el derivador de DS1, que es una señal que no lleva ningún tráfico.

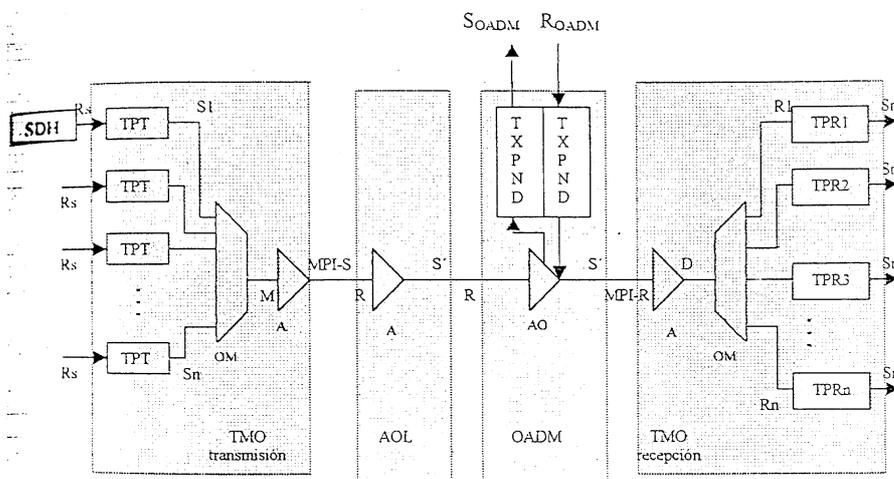
Todos los bits de datos se fijan en 1 lógico para reducir al mínimo el jitter. Un amplificador del reloj de distribución se puede realizar para dividir la señal derivada DS1, para sincronizar muchos elementos de la red.

En una red, cada salida del amplificador de distribución se puede enrutar a diversos elementos de la red.

### **3.6.COMPONENTES DWDM.**

A continuación se presenta un diagrama de bloques de los componentes más importantes de una red óptica punto a punto (Figura3.9), los cuales son:

- Terminales Multiplexores Ópticos. (TMO)
- Amplificador Óptico (AOL).
- Amplificadores de fibra dopados de Erblio (EDFA).
- Multiplexor Óptico Inserción / Extracción (OADM).
- Transconector Óptico (OXC).



**Figura 3.9 Elementos que componen una red DWDM**

### 3.6.1. TERMINALES MULTIPLEXORES ÓPTICOS (TMO)

Los Terminales Multiplexores Ópticos (TMO) realizan la función de Multiplexación y demultiplexación de los tributarios ópticos hacia ó desde los agregados. El TMO de transmisión consta de transpondedores de transmisión (TPT), multiplexor óptico(OM) y amplificador óptico (AO); el TMO de recepción está formado por amplificador óptico, demultiplexor óptico y transpondedores de recepción (TPR). Contienen, además, los elementos comunes requeridos para su correcto funcionamiento (unidades de gestión, alarmas, alimentación, etc.)

El sistema puede transportar tributarios (STM-1, STM-4 y STM-16 y de otros tipos) tanto de la 2da como de la 3ra ventana, no se requiere que éstos lleguen al sistema ya con la longitud de onda concreta con la que van a ser

transportados por la línea. En este caso el proveedor indicará qué es necesario hacer para ser transportados por el sistema (por ejemplo utilizar otras tarjetas diferentes, configurar el *hardware* o el *software* de algún equipo, etc.). Estos equipos son transparentes a la información que transportan, en el sentido de que no realizan modificación alguna de los octetos transportados por los tributarios.

Los TMO tienen la capacidad de incorporar módulos preamplificadores o post-amplificadores de señal en caso de que sea necesario para mejorar las características de transmisión.

### **3.6.2.AMPLIFICADOR ÓPTICO (AOL)**

El Amplificador Óptico de Línea es el nodo intermedio en el sistema y permite la conexión entre terminales. El equipo Amplificador Óptico de Línea (AOL) puede ser implementado en un solo equipo y pasar a ser bidireccional (formado por dos amplificadores ópticos).

Las funciones que realizan éstos son:

- Amplificar las señales de los tributarios entrantes (una por cada sentido si es bidireccional) que se transmiten por la ruta óptica.

- Extraer el canal de supervisión, realizar su tratamiento y volver a insertarlo sobre la fibra.
- Además deben garantizar que la ganancia sea apropiada para el alcance que se especifique.

En la actualidad los amplificadores ópticos de línea trabajan en el rango de los 1530 nm hasta los 1565 nm y pueden amplificar señales ópticas aproximadamente hasta 30 dB, proporcionan ganancia uniforme independiente del número de canales y de velocidad, ajustan automáticamente la ganancia para mantener la potencia objetivo del canal, tienen puertos de monitoreo a la entrada y a la salida del A.O, además permiten el uso de módulos de compensación de dispersión.

### **3.6.3. Amplificadores de fibra dopados de Erbium (EDFA).**

Los EDFAs como su nombre lo dice, se basan en las fibras ópticas de silicón que se dopan con erbio. Este dopaje convierte una fibra pasiva en activa.

Estos amplificadores se los ha utilizado tradicionalmente para propósitos terrestres y submarinos. Los EDFA permiten conseguir regeneradores de longitudes de onda y elimina la necesidad de la regeneración. El amplificador óptico es el que ha hecho al DWDM económicamente factible.

### 3.6.3.1. Tipos de amplificadores

Existen tres tipos básicos de EDFAs:

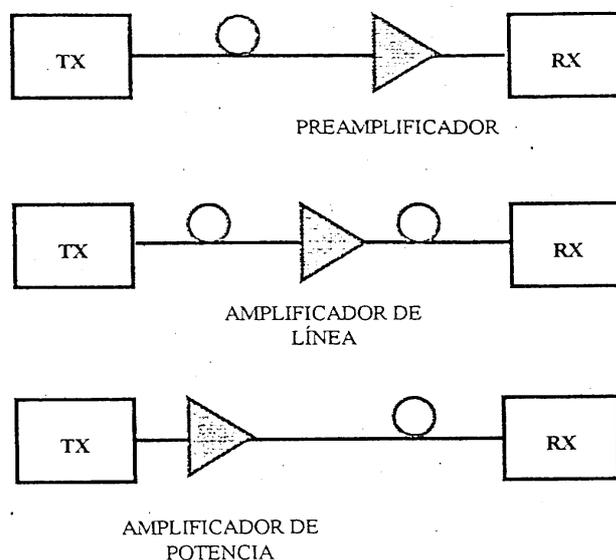
**“-Pre-Amplificadores:** Estos amplificadores deben ser bastante sensibles, deben tener un bajo nivel de ruido y una ganancia aceptablemente alta debido a que generalmente no necesitan una señal de alta potencia a la salida. Una salida de 20 dBm por canal es normalmente una potencia de salida suficiente.

**-Amplificadores de Línea:** Reciben un nivel relativo de señal bajo y deben amplificarlo por el mayor número de dB posible. Las limitaciones de estos amplificadores son la ganancia, el ruido que introducen y potencia total de salida.

**-Amplificadores de Potencia:** Son colocados justo después de la etapa de multiplexado, a la salida del sistema transmisor. La limitación de estos amplificadores es por lo general la potencia total de salida.”<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA



**Figura 3.10 Tipos de Amplificadores.**

### 3.6.3.2. Ventajas de los EDFAs

Las ventajas más destacadas de los EDFAs actuales son las siguientes:

- Funcionamiento en la tercera ventana óptica (la más apropiada para transporte de larga distancia).
- Buen ancho de banda, típicamente 30 a 35 nm
- Alta ganancia óptica superando en ciertos casos los 30 dB según diseño y aplicaciones).
- Alta potencia de salida (hasta 15 dBm o más).

- Factor de ruido relativamente bajo (típicamente 4 a 5 dB). El factor de ruido se define como la relación entre la razón señal-ruido a la entrada del EDFA y la razón señal-ruido a la salida del EDFA. Para el funcionamiento en cadena en tramos ópticos largos o para uso de EDFA en recepción óptica es sumamente importante que este factor de ruido sea bajo.
- Alta velocidad de respuesta. Se han utilizado EDFAs con señales digitales de más de 100 Gbps. Además en funcionamiento WDM (con varias portadoras) la velocidad digital total transportada por el flujo de luz amplificada puede superar los Tera bits por segundo (Tbps) sin problema.
- Inmunidad a la diafonía y distorsión. Se mantiene una perfecta linealidad incluso en un EDFA muy saturado. Este punto se refiere a que en caso de entrada WDM la amplificación no induce "intermodulación".
- Una ganancia independiente de la polarización de la luz.

La banda C (1530 - 1560 nm) es la banda de los EDFA tradicionales.

Llegó a ser imprescindible el ancho de banda del amplificador que tuvo que ser aumentado mientras se eliminaba la interferencia entre canales.

Esto condujo al desarrollo del amplificador *dual-band* (DBFA), con fibras similares al de los EDFAs, pudiendo generar la transmisión en el orden de los Terabits con éxito. La característica más importante del DBFA es su ancho de banda de 1528nm a 1610 nm.

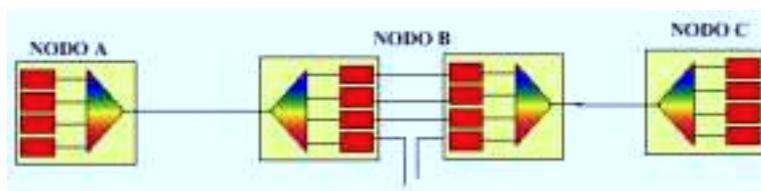
El DBFÁ tiene dos amplificadores de sub-banda. El primero trabaja en el rango del EDFA y al segundo se lo conoce como amplificador extendido de fibra de la banda (EBFA).

Se puede ver que este EBFA tiene varias características atractivas comparadas al EDFA, mayor ancho de banda, saturación más lenta, ganancia plana y ruido más bajo.

#### **3.6.4. MULTIPLEXOR ÓPTICO INSERCIÓN / EXTRACCIÓN (OADM).**

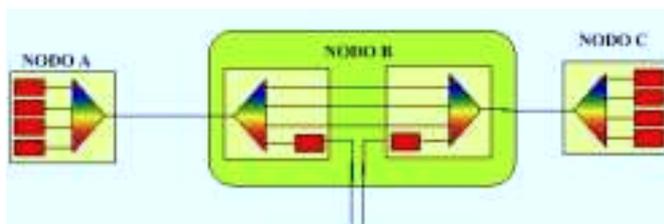
Estos dispositivos son capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma; además de la extracción, también permiten introducir canales a mitad de fibra.

Los OADM proporcionan una solución eficiente para gestionar el tráfico de paso en redes Metro y WAN; se pueden implementarse en las redes de larga distancia junto a los amplificadores o solos.



**Figura 3.11. Uso de Transponders en una Red Pto. a Pto.**

En el ejemplo de la figura 3.11, la conexión entre nodos mediante 2 enlaces pto a pto requiere 8 transpondedores.



**Figura 3.12. Utilización de los OADM.**

Mientras que en la Figura 3.12 se insertan un OADM se ahorran 6 transpondedores y se da idéntico servicio. En conclusión los OADM ayudan a ahorrar componentes fotónicos.(elementos irradiantes de luz) introduciendo encaminamiento en la capa óptica.

### 3.6.4.1. REQUISITOS IDEALES DE OADMS

- Se deben configurar para extraer un número máximo de canales.
- La selección de canales a extraer se debe realizar por el usuario mediante control remoto, incluyendo los transpondedores sin afectar a los que ya operan .
- No deben forzar al usuario a realizar una planificación de antemano de los canales que deben de extraerse en un nodo.
- Deben mantener pérdidas constante independientemente del número de canales que se deseen extraer.

### 3.6.4.2. ARQUITECTURAS OADMS

Existen 4 tipos de arquitecturas o configuraciones con los OADMs:

A.- Configuración paralelo: Conmutación de  $\lambda$  (wavelength routing)

B.- Configuración paralelo: Conmutación de banda (waveband routing)

C.- Configuración serie: Conmutación de  $\lambda$  (wavelength routing)

D.- Configuración serie: Conmutación de banda (waveband routing)

### A.-CONFIGURACIÓN PARALELO: CONMUTACIÓN DE $\lambda$ (WAVELENGTH ROUTING)

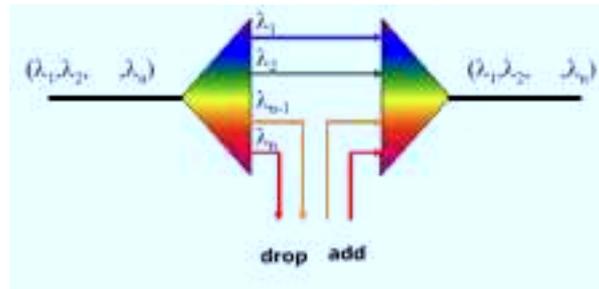


Figura 3.13 Configuración Paralelo: Conmutación de  $\lambda$

En esta configuración de conmutación de  $\lambda$  (longitud de onda) se puede insertar o extraer cualquier  $\lambda$  donde se puede observar que estos multiplexores ópticos se encuentran en derivación o en paralelo.

### B.-CONFIGURACIÓN PARALELO: CONMUTACIÓN DE BANDA (WAVEBAND ROUTING)

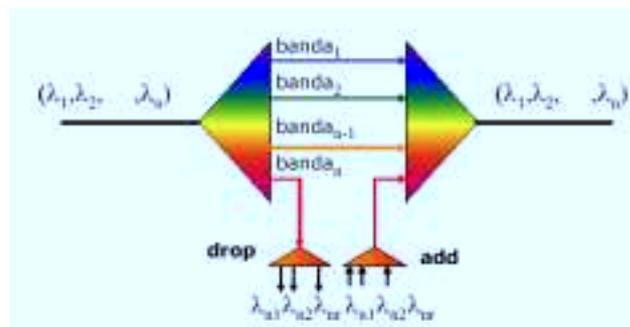


Figura 3.14 Configuración Paralelo: Conmutación de Banda.

En la conmutación de banda nos permite manejar un ancho de banda de varias  $\lambda$  (longitud de onda); se puede insertar o extraer cualquier banda pero manejando otros multiplexores ópticos.

### C.-CONFIGURACIÓN SERIE: CONMUTACIÓN DE $\lambda$ (WAVELENGTH ROUTING)

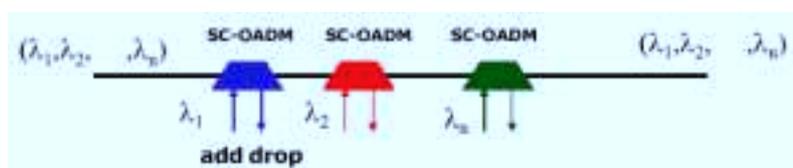
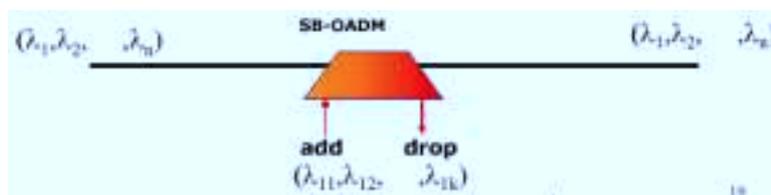


Figura 3.15 Configuración Serie: Conmutación de  $\lambda$

En cambio en la configuración serie de conmutación (Figura 3.15) se colocan los multiplexores ópticos de tipo SC (Serial Connection) - OADM, uno a continuación de otros dando una forma serial de los elementos; la ventaja de este tipo de configuración es que se puede insertar o extraer una  $\lambda$  en cualquier parte de la red óptica lo que no pasa en la configuración paralelo ya que es central.

### D.-CONFIGURACIÓN SERIE: CONMUTACIÓN DE BANDA (WAVEBAND ROUTING)



**Figura 3.16. Configuración Serie: Conmutación de Banda**

Finalmente en la configuración serie de conmutación de banda es simplemente colocar un multiplexor OADM tipo SB (Serial Band) que pueda insertar o extraer una determinadas longitudes de ondas en la red óptica; ya que una longitud de onda maneja un determinado ancho de banda

### 3.6.5. TRANSCONECTOR ÓPTICO (OXC).

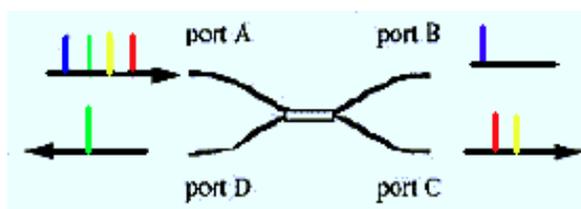
El conector de cruce óptico (OXC) es un nodo de red, que posee varias fibras de entrada y varias de salida. Tiene la capacidad de enrutar un canal de comunicación hacia una de las varias fibras de salida.

Los puntos de salida de la red óptica pueden estar en los niveles DS-3, OC-3 o OC-12. Por esta razón es útil asegurarse que estos ductos estén llenos de tráfico cuando ellos salgan del sistema OXC. Cuando hay 40 canales multiplexados en una fibra (por ejemplo), se necesita que un dispositivo pueda aceptar varios canales de entrada y que pueda enrutarlos a los puertos de salida apropiados en la red. Para lograr esto, el OXC (Figura 3.17) necesita tres bloques:

1. Conmutación de fibra, es la capacidad de poder enrutar la longitud de onda específica de una fibra entrante a diferentes fibras a la salida.

2. Conmutación de longitud de onda, es la capacidad de cambiar específicas longitudes de onda de una fibra entrante a múltiples longitudes de onda en las fibras de salida (en diferentes canales).

3. Conversión de longitud de onda, la capacidad de tomar longitudes de onda entrantes y convertirlas ellas a otra longitud de onda específica sobre el puerto de salida para un mismo canal.



**Figura 3.17. OXC**

“El OXC juega un rol muy importante en las redes ópticas del futuro, entre las expectativas que se tienen están: monitoreo confiable de señal, participación en el proceso de restauración en la capa óptica y limpieza, capacidad de manejar mas puertos de entrada y salida.

Esquemáticamente existen tres tipos de OXC, presentados a continuación:

**-Conmutador de fibra (*fiber switch*):** En su versión más sencilla un OXC es un simple conmutador de fibra. En caso de falla este OXC reencamina todo el tráfico de una fibra hacia otra fibra. Un conmutador de fibra no manipula portadoras (longitudes de onda) individuales y por lo tanto ofrece una flexibilidad limitada en términos de gestión de red.

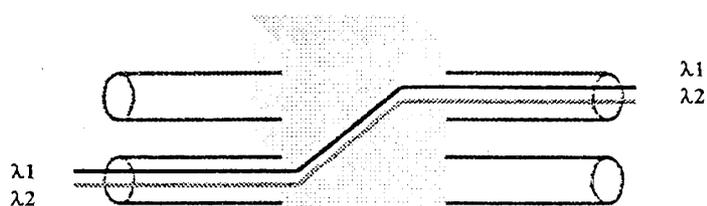


Figura 3.18 OXC conmutador de fibra.

**-OXC conmutador de portadora (*wavelength switching OXC*):** Un conmutador de portadora es un OXC operando a nivel de cada portadora dentro de una fibra y enrutándola hacia otra fibra, sin cambiar la longitud de onda de las portadoras, proporcionando así una gran flexibilidad en las redes WDM modernas.

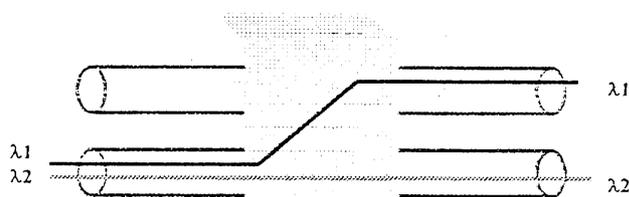
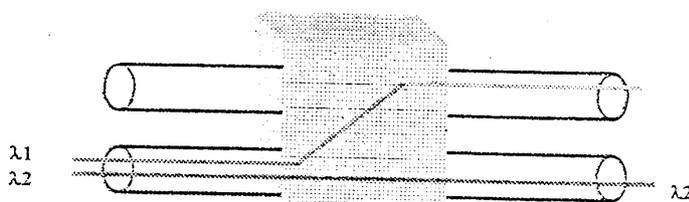


Figura 3.19 OXC conmutador de portadora

**-OXC con traslación de longitud de onda (*wavelength interchange* OXC):**

En su versión más flexible un OXC será capaz de operar no solamente al nivel de portadora, además podrá cambiar las longitudes de onda. Esto es lo ideal en términos de flexibilidad. Un OXC no dotado de esta propiedad puede experimentar un bloqueo ya que en caso de reconfiguración el reencaminamiento de una portadora hacia otra fibra será imposible si dicha fibra tiene ya una portadora a la misma frecuencia. En caso de tener la posibilidad de cambiar la longitud de onda, se podrá obviar este problema simplemente reencaminando de la portadora hacia la fibra elegida y cambiando la longitud de onda a otro valor no ocupado en dicha fibra.”<sup>7</sup>



**Figura3.20 OXC con traslación de  $\lambda$**

Es importante resaltar la gran importancia de los OXC considerando la estadística siguiente: en las redes modernas, en muchos nodos, el porcentaje de tráfico que debe atravesar el nodo es entre 50 % y 75 % mientras que el

<sup>7</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

tráfico a bajar o insertar en la red de transporte es entre 25 % y 50 %. Esto significa que para la mayor parte de tráficos manejados por un nodo SDH - DWDM no hay necesidad de salir del dominio óptico.

En tales condiciones al no usar componentes OADM y OXC se utilizarían conversiones optoelectrónicas muy costosas. Desde este punto de vista el tratamiento óptico (OADM y OXC) es potencialmente muy beneficioso tanto técnica como económicamente.

#### **3.6.6.TRANSPONDER.**

Transpondedores de longitud de onda son equipos que permiten la conversión de la longitud de onda de un transmisor óptico. Los transpondedores son útiles cuando sea necesaria la amplificación óptica en sistemas cuyos transmisores son incompatibles con la ventana de amplificación de los amplificadores comerciales, cuando sea necesario convertir la longitud de onda de un transmisor para tornarlo compatible con el sistema quadruplex y cuando se hace uso de la multiplexación por división de la longitud de onda.

#### **APLICACIONES:**

- Eliminación de los regeneradores de ruta;

- Aumento de la distancia de transmisión entre distintos equipos. Por ejemplo, Gigabit Ethernet, ATM, ESCON ( Enterprise System Connectivity), entre otros;
- Conversión de transmisores de segunda y tercera ventana para cualquier longitud de onda de la rejilla de ITU-T;
- Conversión de emisores de la segunda ventana para la tercera ventana haciéndolos compatibles con amplificación óptica.

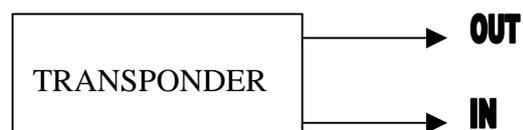


Figura3.21. Transponder

### 3.7.CLASES DE FIBRAS EN EL ENTORNO DWDM

Básicamente se pueden considerar tres clases de fibras en el entorno DWDM:

- G. 652
- G. 653
- G. 65X

La fibra óptica denominada G.652, es ya considerada fibra óptica convencional (*old style fiber*), G.652 presenta una dispersión en torno a los 18 ps/nm . Km.

La dispersión es un efecto que consiste en la ampliación de la anchura del pulso óptico asociada a la transmisión del pulso a lo largo de la fibra y se mide en picosegundos (ps) de retardo por la diferencia en longitud de onda dada en nanómetros (nm) por Kilómetro de propagación, o sea, en ps/nm . Km.

El fundamento físico de la dispersión consiste en la dependencia de la potencia óptica de la señal luminosa con el índice de refracción del material por donde se propaga la luz.

El tipo de dispersión que aparece mayoritariamente en G. 652 es la dispersión cromática, originada por la variación del índice de refracción de la fibra con la longitud de onda de la radiación luminosa, lo que genera que diferentes longitudes de onda se propaguen a diferentes velocidades en la misma fibra, lo cual genera, a su vez, un ensanchamiento del pulso óptico (el pulso óptico está constituido por un grupo de longitudes de onda diferentes).

La fibra G.652 se adapta bien al entorno DWDM. en el sentido de que no aparecen problemas mayores para alojar simultáneamente diferentes longitudes de onda (debido a que no aparece el efecto *Four Wave Mixing* que se describe más adelante y que constituye el efecto no lineal que determina de forma directa la viabilidad de DWDM). Sin embargo, por estar diseñada para sistemas OC-48 ( de 2,5 Gbps ) no se adaptan bien a los requerimientos de 10

Gbps asociados a OC-192, que constituyen el futuro más prometedor debido a la cada vez mayor demanda de ancho de banda por parte del mercado .

Aunque, como se ha mencionado anteriormente, G. 652 se adapta bien al entorno DWDM, es necesario controlar dos efectos no lineales que generan un nivel de distorsión apreciable, como son SPM ( *Self Phase Modulation* ) y XPM ( *Cross Phase Modulation* ).

SPM consiste básicamente en la generación de frecuencias espúreas en el entorno del pulso (alrededor de los dos flancos) que, a causa del efecto de dispersión, viajan a diferentes velocidades y provocan un estrechamiento o ensanchamiento del pulso en base al perfil de dispersión de la fibra que degrada la transmisión.

XPM, por su parte, consiste en la variación del índice de refracción del material de la fibra con la potencia óptica de la señal (y el correspondiente ensanchamiento del pulso óptico) generado en un canal a causa de ese mismo efecto en otro canal diferente cuando dos conjuntos de pulsos coinciden en el tiempo, uno en cada canal. XPM puede contemplarse como el impacto de SPM en los canales del entorno; se controla monitorizando cuidadosamente el espaciado entre canales, así como las tolerancias de los emisores láser.

La segunda generación de fibra óptica, aparecida en términos de instalación y operatividad hace sólo unos años, constituye un avance y mejora de las técnicas de compensación de la dispersión. A estas fibras, denominadas G. 653, se les conoce también mediante las siglas DSF (*Dispersión Shifted Fiber*), debido a que su diseño se basa en un desplazamiento de la llamada longitud de onda de dispersión cero.

En efecto, la dispersión en una fibra óptica toma el valor cero en una longitud de onda determinada, que en el caso de la fibra convencional G. 652 es de 1.3 micrómetros (longitud de onda para la cual el parámetro dispersión es cero). La dispersión toma valores negativos para longitudes de onda menores que la correspondiente a ese punto de dispersión cero. Si esa longitud de onda para la cual se tiene dispersión cero se desplaza desde 1,3 a 1,55 micrómetros (lo cual se puede conseguir modificando el perfil del índice de refracción de la fibra) para hacerla coincidir con la atenuación mínima de la fibra y con la mayor ganancia del amplificador; es decir, cuando la región de dispersión cero se desplaza al margen del ancho de banda del EDFA, se tiene la fibra DSF. El nivel de dispersión que aparece es bajo, menor que 3 ps/nm. Km, .

G.653 se adapta bien a entornos de velocidades de hasta 10 Gbps, pero resulta poco eficaz en el entorno DWDM debido a la importancia que presenta

en este tipo de fibras el efecto FWM ( *Four Wave Mixing* ) , que, es el efecto que determina la viabilidad real del sistema DWDM.

Básicamente, *Four Wave Mixing* puede describirse como un proceso en el cual dos ondas ópticas se mezclan y generan dos nuevas ondas cuyas frecuencias son la suma de las dos primeras y la resta de las dos primeras respectivamente, lo cual traducido al entorno DWDM significa una importante limitación para la transmisión multicanal o de múltiples longitudes de onda en fibras DSF debido a que se generan importantes interferencias entre canales, un efecto conocido normalmente como *croostalk*.

Para que se produzca FWM las fases de las dos ondas iniciales no pueden cambiar una con respecto a la otra a lo largo de todo el camino ,de transmisión.

FWM, muy ligado a la acción del EDFA, se potencia a través del *phase-matching* de la señal con las frecuencias asociadas al ruido de emisión espontánea amplificado en la región de dispersión cero. El ruido de emisión espontánea se refiere al ruido generado por los fotones emitidos (a causa de la transición espontánea de los iones de erbio del estado excitado al estado *ground*) en el margen de longitud de onda de 1,53-1,56 micrómetros (el margen del EDFA) con fase y dirección aleatoria. De esta forma se obtiene una

radiación incoherente que actúa como una amplificación adicional a la del propio EDFA.

Este efecto FWM se puede controlar mediante una monitorización suficientemente precisa de los niveles de potencia, así como de la relación señal-ruido en el amplificador óptico EDFA.

El efecto FWM aparece eliminado en lo que se puede llamar la tercera y última generación de fibras, denominadas NZDSF (*Non Zero Dispersión Shifted Fiber*) o fibras G.65X, que permiten conjugar, sin problemas cruciales, las velocidades por encima de los 10 Gbps con el entorno DWDM y donde los niveles de dispersión se mantienen entre 1 y 6 ps/nm . Km.

De momento estas fibras aparecen como la tecnología de medio de transmisión idóneo para DWDM como una forma de evitar efectos no lineales indeseables al mismo tiempo que se obtienen elevadas velocidades de transmisión y una clara potencialidad para aumentar esas velocidades de transmisión.

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

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

De hecho, se ha observado que la introducción de tecnología DWDM en las redes ópticas metropolitanas produce grandes beneficios en cuanto a costo, flexibilidad y eficiencia.

Estas redes también se conocen habitualmente por el nombre de redes todo ópticas (*all optical networks*), y sus elementos básicos son OADMs (*optical add-drop multiplexers*) y OXCs (*optical cross-connects*) que trabajan directamente sobre los canales ópticos sin realizar ningún tipo de conversión al dominio eléctrico.

La reducción en la cantidad de conversión opto-eléctrica o electro-óptica en una red óptica representa importantes ahorros de costo y de consumo de potencia, a la vez que se facilita una evolución más rápida hacia mayores velocidades.

Así pues, el impulso por la migración hacia redes ópticas transparentes se basa fundamentalmente en consideraciones económicas, viéndose favorecido por la aparición de toda un serie de nuevas tecnologías de conmutación óptica.

### 3.8. ARQUITECTURAS DE DWDM.

Si se observa las arquitecturas de redes de hoy día, se encuentra que la mayoría de redes locales y metropolitanas (por ejemplo *Ethernet* y *Token Ring*) usan topologías broadcast (Un solo canal de comunicación compartido por todas las máquinas) tales como anillos o buses. Todos los nodos en la red comparten un simple canal para transmitir y recibir datos. En contraste con las redes WAN que usan la topología en malla, teniendo nodos con *switches* para enviar datos desde un nodo hacia otro nodo. Estas redes usualmente son utilizadas en manera escasa, debido al costo de los enlaces, y de los *switches* para los nodos.

Las arquitecturas de las redes DWDM pueden ser clasificadas en dos grandes categorías:

- Arquitecturas *broadcast and select* (difusión y selección) y
- Arquitecturas *wavelength routing* (ruteo de longitud de onda).

**3.8.1.ARQUITECTURA BROADCAST AND SELECT:** *En* el ejemplo de la figura 3.22, diferentes nodos transmiten a diferentes longitudes de onda, sus señales hacen *broadcast* por un elemento pasivo en el medio de la red para todos los nodos. En este caso el elemento es un acoplador óptico de estrella

pasivo. El acoplador combina las señales de todos los nodos y entrega una fracción de la potencia de cada señal a cada puerto de salida. Cada nodo emplea un filtro óptico sintonizable para seleccionar la longitud de onda deseada en recepción. La forma de esta red es simple y conveniente para el uso de redes locales y metropolitanas, tal como el acceso a las mismas. El número de nodos en estas redes es limitado debido al hecho de que las longitudes de onda no pueden ser reusadas en la red, y que la potencia de transmisión de un nodo debe ser repartida entre todos los receptores en la red.

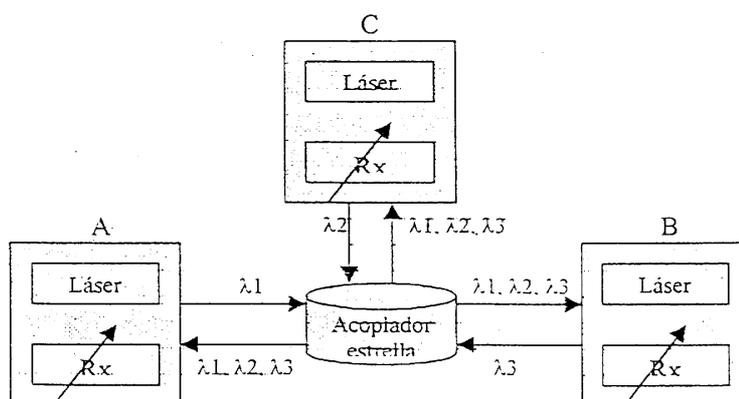
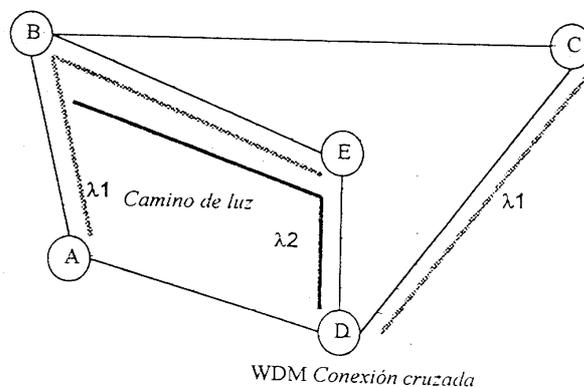


Figura 3.22. Arquitectura broadcast and select

**3.8.2. ARQUITECTURA WAVELENGTH ROUTÍNG:** Es una arquitectura más sofisticada y práctica que se la utiliza hoy en día. Como se muestra en la figura 3.23, los nodos en la red son capaces de enrutar diferentes longitudes de onda de un puerto de entrada a puertos de salida diferentes, esto permite habilitar simultáneos lightpaths (camino de luz) usando la misma longitud de onda en la

red. Por ejemplo en la red de la figura se muestra 3 lightpaths, el lightpath entre A y D y el lightpath entre C y D no comparten enlace alguno en la red y por lo tanto el camino de luz puede ser establecido utilizando la misma longitud de onda  $\lambda 1$ . Al mismo tiempo el lightpath entre B y D comparte un enlace con el lightpath entre A y D y debería por lo tanto utilizar una diferente longitud de onda. Nótese que todos estos lightpaths utilizan la misma longitud de onda sobre cada enlace en toda su camino. Ésta es una limitación que se tendrá, si no existe la capacidad de conversión de longitud de onda dentro de la red. Supuestamente se tenía solo dos longitudes de onda disponibles en la red y se quería establecer un nuevo lightpath entre los nodos C y E vía nodo D. Sin la conversión de longitud de onda no habría la posibilidad de establecer este lightpath. Por otro lado si el nodo D puede realizar la conversión de longitud de onda, entonces se puede establecer este lightpath usando la longitud de onda  $\lambda 2$  sobre el enlace CD y la longitud de onda  $\lambda 1$  sobre el enlace DE.

Esta arquitectura también evita el *broadcasting* a nodos indeseables en la red. Así estas redes son apropiadas para el despliegue en redes MAN y WAN.



**Figura3.23. Arquitectura wavelength routing**

### 3.9. TOPOLOGÍAS DE REDES DWDM.

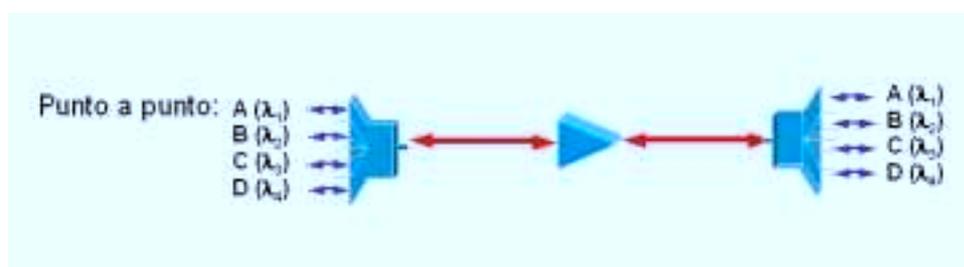
“Las arquitecturas de red se basan en muchos factores, incluyendo tipos de aplicaciones y protocolos, distancias, uso y formas de acceso, y topologías de redes antiguas. En el mercado metropolitano, por ejemplo, las topologías punto a punto se pueden usar para conectar distintas ubicaciones de empresas, las topologías en anillo para conectar sucursales entre sí, y para accesos residenciales, y topologías malladas se pueden usar para conexiones entre POP y conexiones a la “backbone” de larga distancia. En efecto, el nivel óptico debe ser capaz de soportar muchas tecnologías y, porque hay desarrollos impredecibles en esta área, estas topologías deben ser flexibles.

Hoy las principales topologías que se instalan son punto a punto y en anillo. Con los enlaces punto a punto sobre DWDM entre grandes centros empresariales, solamente hay necesidad como premisa de usuario, convertir el

tráfico de aplicación a longitudes de onda específicas y su multiplexación. Los “carriers” con topologías en anillos lineales pueden envolver anillos enteros basados en OADMs. Dado que cada vez los cross-connects y conmutadores ópticos son más configurables, estas redes punto a punto y en anillo se interconectarán en mallas, transformando las redes ópticas metropolitanas en plataformas plenamente flexibles.”<sup>8</sup>

### 3.9.1. TOPOLOGÍAS PUNTO A PUNTO

“Las topologías se pueden implementar con o sin OADM. Estas redes se caracterizan por las ultra velocidades por canal (10 a 40 Gbps), alta integridad y fiabilidad de la señal, y restauración rápida del camino. En las redes de larga distancia, la distancia entre el transmisor y el receptor puede ser de varios centenares de kilómetros, y el número necesario de amplificadores entre extremos puede ser menor de 10. En las MAN, los amplificadores no acostumbran a ser necesarios. (Figura 3.24)”<sup>9</sup>



**Figura3.24. Topología Punto a punto DWDM**

<sup>8-9</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

### 3.9.2. TOPOLOGÍAS EN ANILLO

“Los anillos es la arquitectura más común en las redes metropolitanas con vanos de decenas de kilómetros. El anillo de fibra puede tener canales de hasta cuatro longitudes de onda, y típicamente menos nodos que canales. El rango de velocidades es desde 622 Mbps hasta 10 Gbps por canal. (Figura 3.25)

Las configuraciones en anillo se pueden instalar con uno o más sistemas DWDM, soportando cualquier tipo de tráfico, o pueden tener un concentrador y unos o más nodos OADMs. En el nodo del concentrador el tráfico se origina, se termina y se controla, y a su vez da conectividad con otras redes establecidas. En los nodos OADMs, las longitudes de onda seleccionadas son removidas o añadidas, mientras que las demás pasan de forma transparente. De esta manera, las arquitecturas en anillo permiten que los nodos en anillo suministren acceso a elementos de red como enrutadores, conmutadores o servidores con añadir o remover canales de longitud de onda en el dominio óptico. Sin embargo incrementando el número de OADMs, la señal tiene más pérdidas y se puede necesitar amplificación.”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

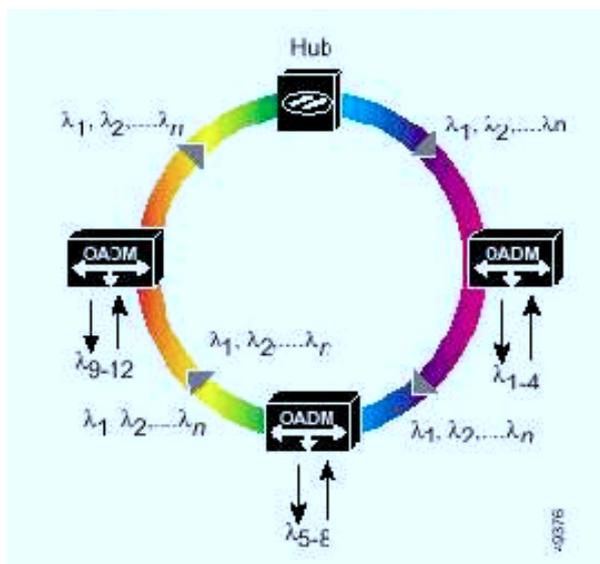


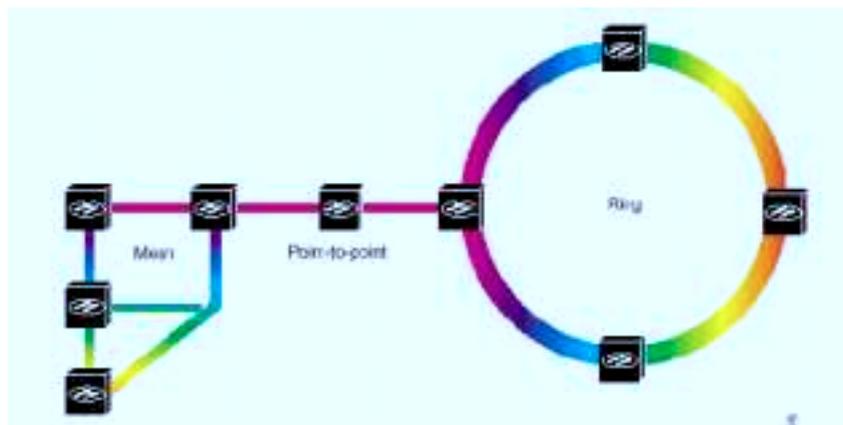
Figura3.25.Topología Anillo DWDM

### 3.9.3.TOPOLOGÍAS MALLADAS

Las arquitecturas malladas son el futuro de las redes ópticas. A medida que las redes evolucionan, las arquitecturas punto a punto y en anillo aún tendrán cabida, pero la malla suministra una topología más robusta. Este desarrollo se podrá hacer mediante la introducción de cross-connects y conmutadores ópticos configurables que en algunos casos sustituirán y en otros complementarán los dispositivos fijos DWDM.

“Desde un punto de vista de diseño, es una posible elegante evolución pasar de topologías punto a punto a topologías malladas. Empezando con los enlaces punto a punto, equipados los nodos iniciales con OADM para tener flexibilidad, y a continuación interconectándolos, la red puede evolucionar en

una malla sin un rediseño completo. Adicionalmente las topologías malladas y en anillo se pueden unir con enlaces punto a punto; como se indica en la Figura 3.26



**Figura3.26.Topología Malladas DWDM**

Las redes malladas requerirán un alto grado de inteligencia para realizar las funciones de protección y gestión del ancho de banda, incluidos la conmutación de la fibra y la longitud de onda. Sin embargo los beneficios en flexibilidad y eficiencia son potencialmente mayores. El uso de la fibra, que puede ser bajo en soluciones en anillo debido al requerimiento de protección de las fibras en cada anillo, se puede mejorar con un diseño en malla. La protección y la restauración se pueden basar en caminos compartidos, de este modo se requieren pares de fibras para la misma cantidad de tráfico y no se dispone de longitudes de onda sin utilizar.

Finalmente las redes malladas serán altamente dependientes del software de gestión. <sup>11</sup>

### **3.10. APLICACIONES DE DWDM EN EL MUNDO.**

En algunas partes del mundo ya se aplican las redes ópticas con gran ancho de banda de acuerdo a la gran demanda a la transmisión de datos, voz, imágenes, etc.

A continuación explicaremos algunas redes ópticas aplicadas con la tecnología DWDM, ubicadas en Canadá, U.S.A, Europa, y en algunos países de Sudamérica:

a) Red óptica aplicada en los Estados Unidos donde se enlaza la Costa Este con la Costa Oeste; uniendo los principales estados de este país, donde se puede tener la columna vertebral de la red óptica, como se muestra en la figura 3.27 se enlaza New York, Atlanta, Denver, Los Angeles, entre otras.

---

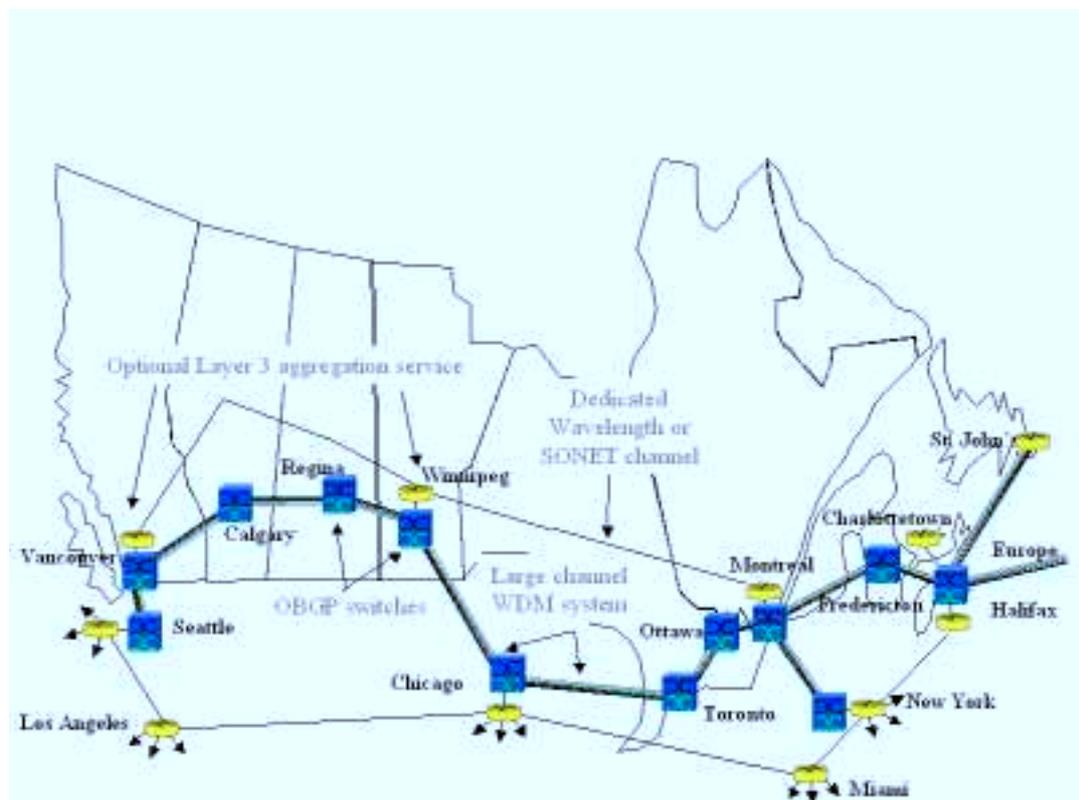
<sup>11</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

Esta red maneja enlaces OC-48 (2,5 Gb/s), donde en cada estado tiene su central de operación, recorriendo más de 12.000 Km (toda la red); usando en algunos casos las vías férreas para la ubicación de la fibra óptica.



**Figura3.27. Red Óptica con Tecnología DWDM para los E.E.U.U.**

b) Está en desarrollo el diseño e implementación de una Red óptica en Canadá; usando una red óptica transparente DWDM de  $16\lambda - 8\lambda$  con un ancho banda de OC-192 (10Gbps); reservadas  $8\lambda$  para operadores y otros usuarios. Abarcando una zona de 1500 Km; en algunos casos se usan redes de fibra oscura de múltiples usuarios conectando universidades y escuelas .



**Figura3.28. Red Óptica con Tecnología DWDM en Canadá.**

### c) Red de fibra óptica en Europa

Esta red enlaza desde el continente Americano hasta el Europeo; parte desde New York a París y Londres, y desde aquí se distribuye para los demás países de Europa.

En algunas partes usan equipo especial para colocar fibra óptica en el agua , es decir por vía subacuática; recorriendo un total de 22.321 Km; con un ancho de banda entre New York y Londres-Paris tiene 1 Tera bit por segundo (Tb/s); como se conoce en Europa se puede viajar de un país a otra en cuestión de

horas o minutos, los ingenieros utilizaron la infraestructura de los ferrocarriles Europeos para la instalación de la Fibra Óptica como se muestra en la Figura3.29.

Los enlaces se lo realizan en la trama OC-48c (2,5 Gb/s); con los servicios: SDH, WDM, IP (2-155 Mb/s); con una disponibilidad de toda la red en un 99,99%.



**Figura3.29. Red Óptica con Tecnología DWDM en Europa.**

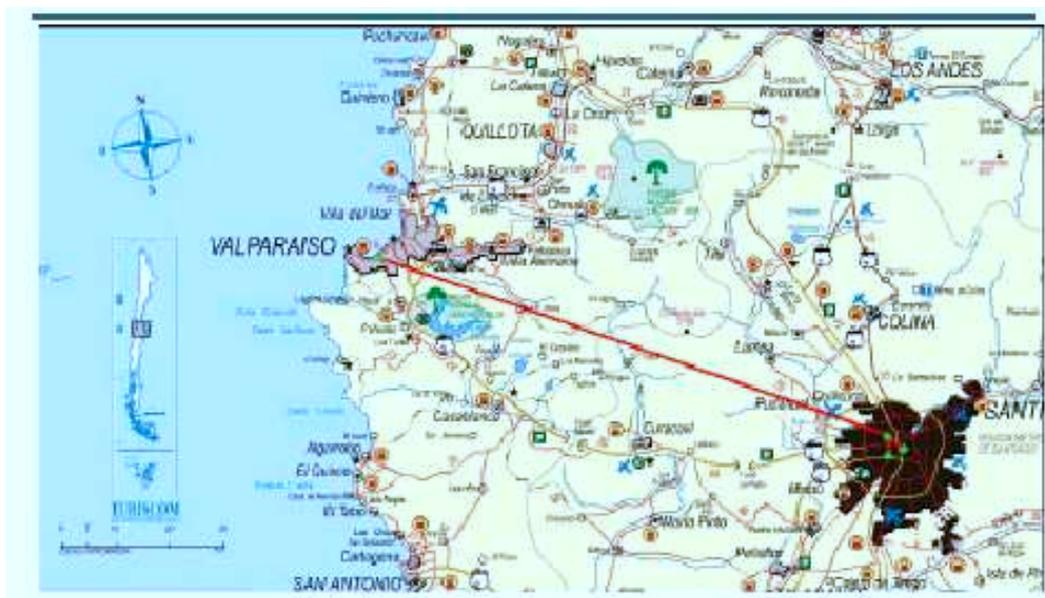
d) En Chile mediante la empresa Chilesat realizó una red con Tecnología Óptica DWDM ; la red de fibra óptica de Chilesat, es la primera infraestructura de Latinoamérica funcionando con tecnología DWDM .

En Santiago de Chile, en enero del 2002; con varios meses de funcionamiento ininterrumpido y cubriendo desde Arica a Valdivia, Chilesat inauguró oficialmente la red de fibra óptica DWDM . La infraestructura duplicó la capacidad de los servicios de la compañía a través de la tecnología DWDM, basada en equipos de Cisco Systems y con la integración y financiamiento de IBM.

Una ventaja clave del DWDM es que puede transportar diferentes tipos de tráfico y diversas velocidades sobre un mismo canal óptico. Las redes basadas en tecnología DWDM permiten la transmisión datos en protocolos como SONET / SDH de modo independiente por cada señal luminosa.

Además, manejan rangos de velocidades de transmisión de entre 100 Mbps y 2.5 Gbps. Así, la red de Chilesat incluye además tecnología SDH (Synchronous Data Hierarchy), la que utilizando tan solo una de las señales luminosas provistas vía DWDM otorga servicios de transporte de información convencionales como telefonía y canales de comunicación de datos punto a punto.

La nueva red DWDM incluye tecnología Cisco de transporte óptico de larga distancia (ONS15801) y el software Cisco Transport Manager, para la administración de fallas, configuración, desempeño y seguridad de los equipos.



**Figura3.30. Red Óptica con Tecnología DWDM en Chile.**

e) En Sudamérica hay un sistema DWDM para Brasil ,la tecnología destinada a aplicaciones de larga distancia será aplicada en el entre Sao Paulo y Curitiba.

En la concepción de su red siempre se ha enfocado la búsqueda de la calidad y grande escalabilidad. Para tanto, se construyó su red en el Sur del país con características de seguridad superiores a la práctica de mercado (profundidades de ducto de hasta 1,3m). A partir de esa red de ductos y fibras, han sido realizadas asociaciones que han dado la condición de entrada en centros económicamente importantes, ampliando la abarcadura para las siguientes ciudades:

Sao Paulo/Sao José dos Campos/Rio de Janeiro/Belo Horizonte (Anillo 01)

Sao Paulo/Curitiba/Florianópolis/Porto Alegre (Anillo 02)

Belo Horizonte/ Salvador / fortaleza (Anillo 03)

Porto Alegre/Uruguaiana/Buenos Aires (Anillo 04)

La Red ha sido construida con tecnología de última generación, por el cual han sido instalados equipos de DWDM y SDH con capacidad inicial de 16 canales de 2.5 Gbps, expansibles hasta 32 canales de 10 Gbps.

f) En Argentina se ha ubicado en la provincia de Buenos Aires, y que se extiende hasta la estación Mendoza/General Paz en Mendoza.; una red con una nueva tecnología, denominada DWDM, brindando flexibilidad, altas capacidades y seguridad de los sistemas en el campo de las comunicaciones ópticas. Los nuevos equipos permiten la inserción o extracción de señales de canales ópticos en cualquier tramo de esa cadena, desplegada en el territorio argentino, pudiendo utilizar distintas capacidades según las necesidades del mercado.

### **3.11. DISTINTAS TECNOLOGÍAS SOBRE DWDM.**

#### **3.11.1. Gigabit Ethernet**

“Gigabit Ethernet (GE) es una probada tecnología que permite la migración desde Ethernet y la integración con la misma. Es relativamente cara

comparada con otras tecnologías que ofrecen la misma velocidad de transmisión, pero no soporta calidad de servicio ni tolerancia a fallos. Cuando confinada a topologías punto a punto, las colisiones no son importantes, se consigue un mejor uso en cuanto a la utilización del ancho de banda. Debido a que el nivel físico óptico puede soportar distancias más largas que el cable tradicional categoría 5, Gigabit Ethernet sobre fibra (1000BASE-LX, por ejemplo) se puede emplear con DWDM.

Los últimos avances en tecnología Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, se dirigen a la necesidad de interconectar las LAN Ethernet que operan a 10, 100 y 1000 Mbps. 10 Gigabit Ethernet se puede usar para agregar enlaces de acceso más lentos, en las “backbone” de las redes, y para accesos WAN. Usando láseres de 1550 nm, se alcanzan distancias de 40 a 80 Km. con 10 gigabit Ethernet sobre la fibra monomodo estándar. Con esta tecnología, los proveedores de servicio pueden construir simples redes Ethernet sobre fibra sin SONET ni ATM y con servicios de alta velocidad 10/100/1000 Mbps a un costo muy bajo. Además la interface OC-192 VSR (Very Short Reach) se puede usar para conectar 10 Gigabit Ethernet a equipos DWDM sobre fibra multimodo. Ethernet ofrece las ventajas técnicas de una tecnología comprobada, fiable y sencilla. Las implementaciones son estándar e interoperables, y a un costo muy inferior que el SONET o ATM. Arquitecturalmente la ventaja de Ethernet es su potencial emergente para servir una solución escalable y extremo a extremo.

La gestión de red también se puede mejorar con el uso de Ethernet en MAN y WAN.”<sup>12</sup>

### **3.11.2. ATM**

“Muchos proveedores de servicios están a favor de ATM porque puede encapsular diferentes protocolos y tipos de tráfico en un formato común para la transmisión sobre una infraestructura SONET. Mientras tanto la red mundial de datos, que está orientada predominantemente a IP, se inclina a favor de paquetes sobre SONET (POS), que obvia el nivel intermedio del costoso ATM. Avances en IP, combinados con el aumento de capacidad de los enrutadores gigabit y multigigabit, hacen posible prever una red basada en IP que sirve perfectamente para transportar principalmente datos pero también la voz.

Sin embargo ATM permanece fuerte en las MAN. Puede acomodar interfaces de alta velocidad y suministrar la gestión de servicios de circuitos virtuales mientras ofrece capacidades de gestión de tráfico. Así los dispositivos finales ATM se usan comúnmente para terminar el tráfico, incluyendo VoIP, DSL y Frame Relay.”<sup>13</sup>

---

<sup>12-13</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

### 3.11.3. IP

Es claro de que hay la tendencia a que servicios tradicionales de conmutación de circuitos migren a redes IP y que las redes cada vez transporten más datos que voz. Por ello es necesario que las redes evolucionen para acomodar el tráfico. Sin embargo IP puede necesitar llegar a ser tan complejo como ATM para sustituir sus funcionalidades. Así ATM e IP son los candidatos para transportar directamente sobre DWDM. En cualquier caso el resultado es simplificar la infraestructura de red con un menor coste como consecuencia de menos elementos y menos fibra, interfaces abiertos, más flexibilidad y estabilidad. La cuestión es que , IP viajara en las redes ópticas en los formatos: IP sobre ATM sobre SONET, IP sobre SONET (POS) o IP sobre Gigabit Ethernet o 10 Gigabit Ethernet.

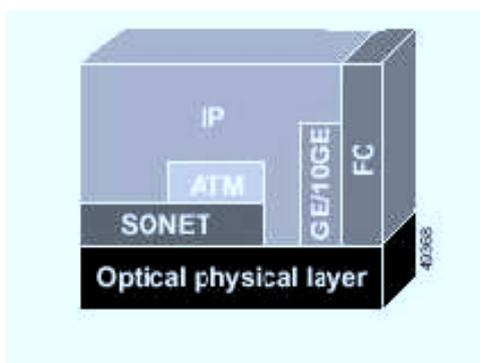


Figura 3.31. Los enlace de datos y red protocolos encima de la capa óptica

### 3.11.4. Fibre Channel

Fibre Channel es la tecnología predominante de enlace de datos utilizada en SANs (Storage Area Network). Fibre Channel es una sustitución económica

para el protocolo SCSI como una interfaz de alta velocidad para aplicaciones tales como copias de seguridad, recuperación de datos y mirroring (reflejo). Las interfaces Fibre Channel funcionan hoy a 100 Mbps; las interfaces a 200 Mbps serán viables en un futuro y las de 400 Mbps está en pruebas.

“Fibre Channel viene sin las fuertes limitaciones de distancia de SCSI; también evita las restricciones de terminación de SCSI porque cada nodo actúa como un repetidor óptico. Fibre Channel se puede implementar en un enlace punto a punto, o en una topología mallada con un conmutador. Fibre Channel como otros protocolos se puede transportar directamente sobre el nivel óptico con DWDM.”<sup>14</sup>

### **3.11.5. DPT (Dynamic Packet Transport)**

DPT (Dynamic Packet Transport) es un protocolo de Cisco y es una alternativa de SONET para un transporte más eficiente de datos en arquitectura en anillo. DPT soporta procesamiento básico de paquetes, igualdad, multicasting, IPS (Intelligent Protection Switching), descubrimiento de topología, enrutamiento y gestión de red. DPT puede correr directamente en fibra, SONET o DWDM.

---

<sup>14</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

La principal ventaja del DPT sobre SONET es su posibilidad de reutilización del ancho de banda que de otra forma se perdería. El ancho de banda se consume solamente en los segmentos atravesados y múltiples nodos pueden transmitir concurrentemente.

DPT se basa en anillos bidireccionales. Los paquetes son transportados en ambos anillos de forma concatenada, mientras los mensajes de control se transportan en la dirección contraria a los datos.

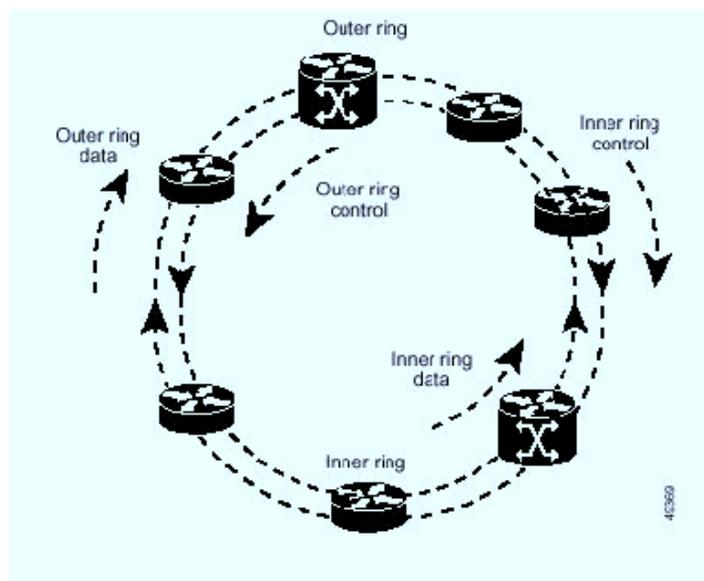


Figura 3.32. Arquitectura de Anillo DPT

### 3.11.6. FDDI (Fiber Distributed Data Interface)

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) es una tecnología antigua. Habiendo sido útil en su época, ha sido reemplazada por tecnologías más avanzadas. Sin

embargo FDDI es capaz de escalar a las MAN, también es una tecnología que comparte el medio con una capacidad relativamente baja con los estándares actuales. Esta limitación, con la poca disponibilidad de interfaces FDDI en equipamiento de redes, está haciendo que el FDDI se sustituya por Gigabit Ethernet, o ATM. Sin embargo también es un protocolo que se puede transportar transparentemente sobre el nivel óptico de DWDM.

DWDM no es dependiente de protocolo, debido a que su operación se realiza en capa uno del modelo OSI de las redes, básicamente toma las entradas ópticas sin importar el protocolo que esta señal óptica contenga y modula cada señal óptica usando una longitud de onda como portadora, lo que resulta en poder transmitir tantas señales como longitudes de onda soporte el equipo o equipos que se estén utilizando. El ancho de banda soportado para cada señal óptica que es modulada en una longitud de onda, es de 10 Gbps, esto quiere decir que en cada longitud de onda podemos transmitir una señal de hasta 10 Gbps. Seguramente estas velocidades se verán incrementadas en los próximos años.

Los equipos actuales soportan 32 longitudes de onda y están siendo liberados equipos que soportan 80 longitudes de onda en un solo enlace de fibra óptica.

Esta tecnología permite a los *carriers*, incrementar la capacidad de sus redes utilizando la infraestructura existente, sin tener que instalar más fibra, esto nos ayuda a reducir tiempos de implantación y una reducción tremenda en costos.

Este crecimiento permite aumentar los servicios que ofrecen e incluso innovar en servicios que ya están siendo demandados por corporativos, como es el rentar una longitud de onda para conectar dos puntos, o porque no si se tiene fibra disponible rentarla para que alguna empresa pueda hacer uso de DWDM, en vez de utilizar los típicos enlaces E1 o E3, que aparte de ser de baja velocidad el costo de renta y administración se incrementa.

DWDM permite que las empresas comiencen a utilizar aplicaciones que por limitantes de ancho de banda no podían ser implantadas como lo es tener sitios espejo, para contingencias o aumentar el desempeño de los sistemas de información, el uso de dispositivos de almacenamiento masivo en diferentes localidades, la consolidación de servidores y el uso de aplicaciones de multimedia a distancia.

### **3.11.7. MPLS (MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING: CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS MULTIPROCOLO)**

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. Nuevas tecnologías de transmisión sobre fibra óptica, tales como Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM), proporcionan una eficaz alternativa al ATM para multiplexar múltiples servicios sobre circuitos individuales. Además, los tradicionales conmutadores ATM están siendo desplazados por una nueva generación de routers con funciones especializadas en el transporte de paquetes en el núcleo de las redes. Esta situación se complementa con una nueva arquitectura de red de reciente aparición, conocida como Multi-Protocol Label Switching (MPLS). MPLS se considera fundamental en la construcción de los nuevos cimientos para la Internet del próximo siglo.

**3.11.7.1. CONCEPTO:** MPLS (Multi-Protocol Label Switching) es una red privada IP que combina la flexibilidad de las comunicaciones punto a punto o Internet y la fiabilidad, calidad y seguridad de los servicios Private Line, Frame Relay o ATM y DWDM.

Ofrece niveles de rendimiento diferenciados y priorización del tráfico, así como aplicaciones de voz y multimedia. Y todo ello en una única red. Contamos con distintas soluciones, una completamente gestionada que incluye el suministro y la gestión de los equipos en sus instalaciones (CPE). O bien, que sea usted quien los gestione.

#### **3.11.7.2.APLICACIONES:**

“MPLS ofrece las siguientes garantías de Clase de servicio en el rendimiento de la red:

**-Application Class 1 (voz):** Servicio IP de cualquier punto a cualquier punto para el tráfico de calidad de voz. Cuenta con el completo respaldo de las garantías de nivel de servicio para retrasos de ida y vuelta, entrega del paquete e interferencias.

**-Application Class 2:** Servicio Premium IP de cualquier punto a cualquier punto con prioridad superior para aplicaciones sensibles al tiempo, como SAP, ERP y las aplicaciones de multimedia y videoconferencia. Cuenta con el completo respaldo de las garantías de nivel de servicio para retrasos de ida y vuelta y entrega del paquete.

**-Application Class 3:** Solución de transporte IP, de cualquier punto a cualquier punto, flexible y rentable para aplicaciones que toleran los retrasos, como el correo electrónico y la exploración por Internet “<sup>15</sup>

### **3.12.PROVEEDORES DE DWDM .**

#### **3.12.1.EMPRESA PADTEC**

##### **3.12.1.1. APLICACIONES**

- “La Plataforma Metropad WDM de Padtec es compatible con sistemas de larga distancia y sistemas metropolitanos.
- Elevada escalabilidad: puede ser instalado inicialmente como un sistema CWDM de dos canales con posibilidad de expansión futura.
- La Plataforma Metropad de Padtec es Full Spectrum CWDM, soporta hasta 16 canales ópticos a 2,5 Gbps, desde 1310 nm hasta 1610 nm.
- En la configuración DWDM posee capacidad de hasta 40 canales a 10 Gbps en la banda C, con posibilidad de soportar más 40 canales ópticos en la banda L. Capacidad total de 800 Gbps.
- Amplificadores de Fibra Dopada con Erblio (post, pre y de línea) y RAMAN para la configuración DWDM.
- Gestión fuera de la banda de amplificación, asegurando funcionamiento del sistema de gestión en cualquier condición.

---

<sup>15</sup> [www.telefónica.com.es](http://www.telefónica.com.es)

### 3.12.1.2. CARACTERÍSTICAS:

- Aumento de la eficiencia de las fibras ópticas instaladas a través de grooming óptico de cualquier equipo de transmisión digital.
- Transmisión de canales ESCON, FICON, Fiber Channel y réplica de base de datos en redes del tipo SAN.
- Distribución de señales de TV digital.
- Oferta de fibra virtual a través de longitud de onda con gestión continua.
- Redes de larga distancia con oferta de longitud de onda para atendimento a pequeñas y medias localidades.
- Aplicable a redes lineales o en anillo.”<sup>16</sup>

### 3.12.2. EMPRESA MARCONI

#### - CARACTERÍSTICAS:

- “80 canales en banda C (3ª vent.) y 80 en banda L (4ª vent.)
- Separación entre canales: 50 GHz
- Capacidad por canal: 10 Gb/s (OC-192 o 4 \* OC-48)
- Capacidad máxima: 1,6 Tb/s
- Alcance sin repetidores: 3.000 Km (160 canales), 4.000 Km (80 canales)”<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> [www.padtec.com](http://www.padtec.com)

<sup>17</sup> [www.marconi.com](http://www.marconi.com)

### **3.12.3. EMPRESA ALCATEL**

“Sistema de transporte a gran distancia de alta capacidad, con alcance ampliado; este avanzado amplificador DWDM bidireccional transmite señales más de 1500 km antes de que sea necesaria una regeneración optoeléctrica.

#### **3.12.3.1.CAPACIDAD:**

- Admite hasta 1,6 Tbits/s (160\* 10 Gbits/s) de capacidad en una sola fibra.
- Transparente al formato de transmisión, a la tasa de bits y al formato de modulación.

#### **3.12.3.2.APLICACIONES:**

- SONET/SDH, ASYNC/PDH, IP, ATM, con velocidades de canal de 2.5 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s; así como cualquier combinación de estos.
- Preparado para operar con SSMF, NZDSF y DSF. Compensación de dispersión integrada.(tipos de fibra especiales monomodo)
- Sofisticadas soluciones OADM con configuración remota.

#### **3.12.3.3. BENEFICIOS:**

- Costos significativamente menores en el diseño de la red debido a la baja cantidad de costosos regeneradores requeridos, como consecuencia del alto performance del sistema.

- Reducida inversión inicial al poner en marcha un sistema con la capacidad adecuada al momento de la implementación.
- Es posible incorporar más capacidad cuando la demanda de ancho de banda lo exija.
- Máxima utilización de la planta de fibra existente.
- Permite utilizar mejor la planta existente y evitar el agotamiento de la fibra.
- Simplificación del diseño de su red. La arquitectura de alta densidad reduce sustancialmente la cantidad de equipos necesarios, reduciéndose a la vez los costos de soporte y mantenimiento.
- La más alta capacidad de transporte y alcance disponibles comercialmente.”<sup>18</sup>

#### **3.12.4. EMPRESA NORTEL**

##### **3.12.4.1.CAPACIDAD:**

“Se utiliza para capacidades de transmisión de 160 Gbits/s. Esto puede ser:

- hasta 16 x 2,5 Gbits/s, o
- hasta 16 x 10 Gbits/s, o
- hasta 64 x 2,5 Gbits/s

---

<sup>18</sup> [www.alcatel.com](http://www.alcatel.com)

### **3.12.4.2.CARACTERÍSTICAS:**

Transmisión óptica hasta 140 km sin repetidores y hasta 1200 Km utilizando amplificadores ópticos.

- Configuración inicial de bajo costo para transmisión hasta 80 km con sistema pasivo (sólo componentes ópticos, sin consumo de energía).
- Multiplexación óptica add-drop para tráfico local.
- Transmisión transparente de todo tipo de señales de entrada.
- Transmisión de datos adicionales a través del canal de supervisión óptico en una longitud de onda distinta.
- Un sub-bastidor puede acomodar dos sistemas diferentes.

### **3.12.4.3. BENEFICIOS:**

- Provisión de capacidad de transporte de hasta 160 Gbit/s en forma rápida y eficiente.
- Líder en rendimiento a 2,5 Gbit/s.
- El más compacto sistema DWDM disponible en el mercado.”<sup>19</sup>

## **3.12.5. EMPRESA CISCO**

### **3.12.5.1.CARACTERÍSTICAS:**

---

<sup>19</sup> [www.nortel.com](http://www.nortel.com)

- “Para operación en redes multiproveedor SDH/SONET y redes basadas en IP/ATM.
- Capacidad de transporte inicial de ocho canales con el más alto valor de rendimiento por tramo.
- Capacidad de transporte modular, que comienza en 20 Gbits/s con opciones de incremento de hasta 320 Gbits/s por fibra.
- Compensación de dispersión integrada y ecualización de dispersión para redes que usen fibra NDSF.
- Alta densidad de equipo, estantería común de equipos.

#### **3.12.5.2. BENEFICIOS:**

- Valores de rendimiento en tramos óptimamente espaciados y cifras de costo relacionadas a través de seis tipos de configuración diferentes.
- Una configuración de cable más sencilla y menos costosa, ya que no hay necesidad de fibra adicional para el suministro. Pre-amplificadores ópticos alimentados remotamente con la luz de alimentación viajando en la fibra de transmisión.
- Menor inversión inicial al poner en marcha un sistema con la capacidad adecuada.
- Se puede añadir más capacidad cuando la demanda de ancho de banda lo exija.
- Combina facilidad de gestión con un diseño compacto y abierto al futuro.

Los sistemas DWDM de CISCO funcionan a longitud de onda DWDM según la ITU , con canales habitualmente separados 100/200 GHz (desde 1530.33 nm hasta 1600.60 nm en las bandas C y L) conformando canales de datos a una velocidad de transmisión máxima de 2,5 Gbps. Los formatos típicos de datos que permite transportar nuestros sistemas son: tráfico SDH/SONET STM-1/4/16 (OC-3/12/48), Fibre Channel y Gigabit Ethernet.

Nuestros sistemas ofrecen soluciones end-to-end: acceso (transmisores, receptores, OADM, Mux/Dmux) , transporte (amplificación, switching) y gestión, son escalables y modulares y obedecen a una arquitectura pay-as-you-grow combinándolos con nuestros sistemas basados en tecnología CWDM.”<sup>20</sup>

### **3.13.VENTAJAS DWDM.**

Desde la perspectiva técnica y económica, la posibilidad de suministrar potencialmente una capacidad de transmisión ilimitada es la ventaja más obvia de la tecnología DWDM. A medida que la demanda cambia, se puede añadir más capacidad, ya sea actualizando el equipamiento ya sea aumentando el número de longitudes de onda de la fibra sin costo de actualización. Aparte del ancho de banda, las ventajas técnicas más convincentes del DWDM son las siguientes:

---

<sup>20</sup> [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

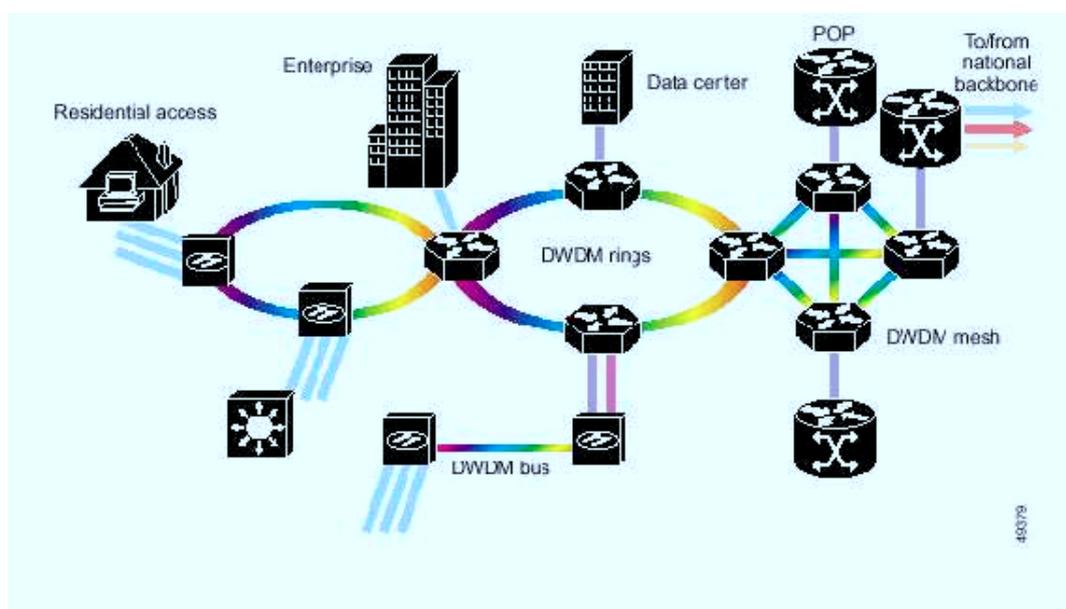
- **Transparencia.** Porque el DWDM es una arquitectura de nivel físico, que puede transportar transparentemente TDM y formatos de datos tales como ATM, Gigabit Ethernet, ESCON y Fibre Channel con interfaces abiertas sobre un nivel físico común.
- **Escalabilidad.** El DWDM puede hacer que la abundancia de fibra en MAN y redes empresariales, permita cubrir rápidamente los aumentos de demanda de ancho de banda de los enlaces punto a punto o de los anillos SONET/SDH actuales.
- **Aprovisionamiento dinámico.** El aprovisionamiento rápido, simple y dinámico de las conexiones de red dan a los proveedores la posibilidad de suministrar servicios de banda ancha en días en vez de meses.

### **3.14. EL FUTURO DEL DWDM**

“ El DWDM continuará suministrando el ancho de banda para grandes cantidades de datos. De hecho la capacidad de los sistemas crecerá con el avance de las tecnologías que permiten un espaciado menor, y por tanto números más altos de longitudes de onda. Pero el DWDM también se está moviendo más allá del transporte llegando a ser la base de las redes ópticas con aprovisionamiento de longitud de onda y protección basada en malla. La conmutación a nivel fotónico (conjunto de nuevas tecnologías cuyo objetivo es

el control y encaminamiento de una señal luminosa sin la conversión a señal eléctrica) permitirá esta evolución, así como los protocolos de enrutamiento permitirán caminos de luz que atraviesen la red de la misma forma que lo hacen actualmente los circuitos virtuales.

Estos y otros avances están convergiendo hacia una infraestructura óptica. En la Figura 3.33 se muestra un ejemplo de una infraestructura de este tipo, usando topologías mallas, en anillo y punto a punto a nivel óptico para soporte de las necesidades de las redes empresariales, de acceso metropolitano y el corazón de las metropolitanas. “<sup>21</sup>



**Figura 3.33. Redes Futuras con DWDM**

<sup>21</sup> Introducción al DWDM, Antonio Salavert. CISCO UPC CCABA

## **CAPITULO IV**

### **SITUACIÓN ACTUAL Y LA PLANIFICACIÓN EXISTENTE DE LAS REDES CON FIBRA OPTICA EN LA ZONA CENTRAL DEL PAIS.**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo haremos una descripción general de la Red Troncal de Fibra Óptica existente en nuestro País. Tomaremos en cuenta los equipos , medios de transmisión y elementos de gestión.

Es necesario saber las especificaciones técnicas importantes de los equipos ADM usados en esta Red Troncal; como en todo buen diseño debemos considerar otro sistema de respaldo de Microondas que se detalla en este capítulo.

También describiremos los materiales usados en la instalación de la Fibra Óptica en Planta Externa; características de la fibra usada y otros, que nos ayudaran a nuestro diseño con la tecnología DWDM para la Zona Central del Ecuador.

Otro detalle importante es la ampliación de la Red Troncal, como en nuestro estudio y diseño es para la Zona Central del Ecuador entonces tomaremos a

las Provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Guaranda y Pastaza; en esta última no está instalada la fibra óptica, pero sabemos que de las ciudades de Pelileo, Baños, Mera y Puyo serán consideradas para la instalación de la fibra óptica y se conectarán a la Estación de Ambato para cerrar el anillo óptico. También tomaremos en cuenta a Quito porque es la matriz principal donde se encuentra el sistema de control y de gestión de la red, en pocas palabras es el corazón de la Red Troncal de fibra Óptica.

Entonces como toda la Red Óptica del Ecuador se va a realizar con los mismos equipos y sistemas, solo tomaremos en cuenta las provincias de la Zona Central del Ecuador para nuestro diseño y formaremos una red óptica y podrá ser utilizado para implementarlo en todo nuestro país de acuerdo a la información que tenemos.

#### **4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA.**

“En nuestro país existe una Red Troncal Nacional de Fibra Óptica, mediante una Red de transmisión de multiplexores SDH que comprende tres sistemas distribuidos geográficamente, los cuales interconectarán las principales ciudades de Ecuador; obteniendo un tendido de 1037Km de cable subterráneo.

Los tres sistemas que conforman La Red Troncal (Figura 4.1.)son:

Sistema Quito – Guayaquil, el cual está conformado por los seis (6) enlaces que unen las principales ciudades ubicadas entre Quito y Guayaquil.

Sistema Ambato - Cuenca, el cual está conformado por cuatro (4) enlaces uniendo las principales ciudades ubicadas entre Ambato y Cuenca.

Sistema Quito – Tulcán, el cual está conformado por seis (6) enlaces ubicados entre las principales ciudades. Los tres sistemas se describen más adelante.”<sup>1</sup>



Figura 4.1.Red troncal de Fibra Óptica (RTFO) en el Ecuador

#### 4.2.1. ALCANCE PARA EL PROYECTO DE PLANTA EXTERNA

<sup>1</sup> ANDINATEL, RTFO ,Construcción y Mantenimiento, Quito – Ecuador , febrero 2003

“Para la construcción del Proyecto de Planta Externa se ha seleccionado como medio de transmisión, cable de fibra óptica para ducto, fibra monomodo tipo standard de acuerdo a la recomendación de la UIT-T G.652. El cable de fibra óptica se instaló en forma subterránea a lo largo de las carreteras nacionales, mediante la protección mecánica de un triducto de polietileno a una profundidad que oscila entre 0.60 y 1.20 metros en los tramos interurbanos según sea el caso. En las ciudades la fibra óptica será instalada por medio de subductos en las canalizaciones existentes. A continuación se muestra la composición de cada sistema de acuerdo con sus enlaces, indicando sus longitudes aproximadas (Tabla 4.1):

SISTEMA	ENLACE	DUCTERÍA		DISTANCIA PLANIMETRICA	DISTANCIA TOTAL DEL CABLE (INCLUYE CABLE EN CENTRALES)
		CANALIZACIÓN URBANA (EXISTENTE)	CANALIZACIÓN INTERURBANA (NUEVA)		
QUITO GUAYAQUIL	QUITO A LATACUNGA	22.143	69.959	92.102	96.707
	LATACUNGA A AMBATO	18.609	26.621	45.230	47.492
	AMBATO A GUARANDA	8.081	89.050	97.131	101.510
	GUARANDA A BABAHOYO	4.640	113.081	117.721	121.975
	BABAHOYO A MILAGRO	3.595	41.688	45.283	47.493
	MILAGRO A GUAYAQUIL	15.883	28.487	44.370	47.295
AMBATO CUENCA	AMBATO A RIOBAMBA	10.426	61.183	71.609	75.189
	RIOBAMBA A ALAUSI	8.532	86.593	95.125	99.250
	ALAUSI A AZOGUES	2.652	134.984	137.636	142.016
	AZOGUES A CUENCA	14.826	15.758	30.584	33.719
QUITO TULCÁN	QUITO CENTRO A EL QUINCHE	24.831	27.327	52.158	54.766
	EL QUINCE A CAYAMBE	2.382	43.457	45.839	48.131
	CAYAMBE A OTAVALO	1.783	34.431	36.214	38.025
	OTAVALO A IBARRA	5.242	22.075	27.317	28.683
	IBARRA A EL ANGEL	2.109	64.814	66.923	70.269
	EL ANGEL A TULCÁN	6.670	43.615	50.285	52.799

Tabla 4.1. Distancias en los Sistemas de la RTFO en el Ecuador

En la Figura 4.2. nos indica los sistemas de la Red Troncal de Fibra Óptica del Ecuador con sus distancias, y características del sistema ; teniendo un sistema de transmisión SDH de 2.5 Gbps, STM –16.”<sup>2</sup>

#### **4.2.2. ALCANCE DE LOS EQUIPOS DE TRANSMISIÓN –GESTIÓN**

“Los equipos de transmisión SDH por fibra óptica para los tres Sistemas Troncales de Transmisión: Quito – Guayaquil, Ambato – Cuenca y Quito – Tulcán, están conformados por multiplexores de inserción-extracción (ADM) de la Jerarquía Digital Síncrona con velocidad de línea de 2.5 Gbps o STM-16 (capacidad de 1008 tributarios de 2 Mbps o capaces de transmitir hasta 30.240 llamadas telefónicas bidireccionales simultáneamente, o su equivalente en otros servicios de telecomunicaciones).

En cada Sistema Troncal de Transmisión se cursa tráfico entre diferentes ciudades y mediante la propiedad de inserción y extracción de señales se logra la comunicación entre ellas. Los equipos se instalo en las centrales de Andinatel y de Pacifictel, según corresponda. Las ciudades o estaciones que integran cada uno de los Sistemas Troncales (Figura 4.3) son las siguientes:

Sistema Troncal de Transmisión Quito – Guayaquil: Quito, Latacunga, Ambato, Guaranda, Babahoyo, Milagro y Guayaquil.

---

<sup>2</sup> ANDINATEL, RTFO ,Construcción y Mantenimiento, Quito – Ecuador , febrero 2003

Sistema Troncal de Transmisión Ambato – Cuenca: Ambato, Riobamba, Alausí, Azogues y Cuenca.

Sistema Troncal de Transmisión Quito – Tulcán: Quito, El Quinche, Cayambe, Otavalo, Ibarra, El Angel y Tulcán.

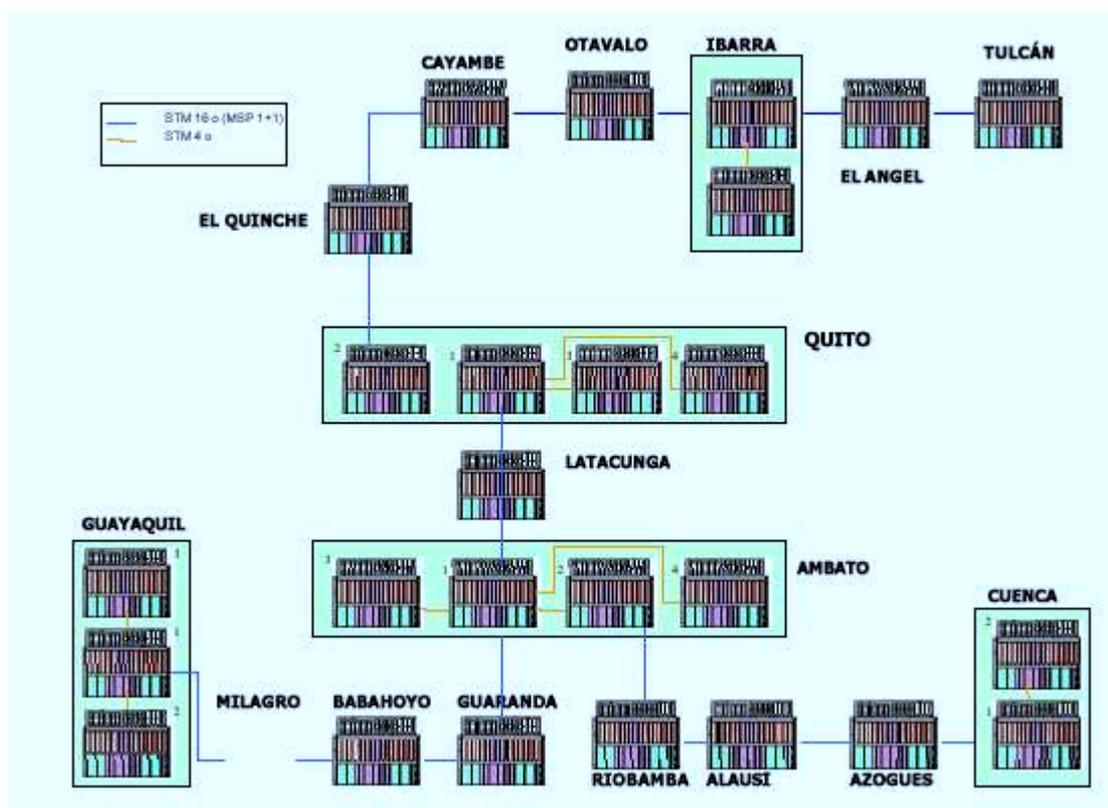


Figura 4.3. Diagrama General de la Red de Transmisión

La configuración de red está basada en las siguientes premisas de diseño:

- Equipos multiplexores ADM-16 (SMA 16/4 Series 4) con capacidad de inserción-extracción hasta señales de 2 Mbps instalados en 17 estaciones. Los equipos que hayan sido destinados para extender la capacidad de tributarios de 2 Mbps, se configuran como ADM STM-4. El total de equipos SMA 16/4 es de 27 elementos de red.
  
- Sistemas de protección de línea y de tributario (1+1 MSP, 1:N).
  
- Interfaces ópticas de línea STM-16 para operación en la ventana de 1.550 nm.
  
- Interfaces de tributario eléctricas desbalanceadas, 75 ohmios.
  
- Plan de Sincronismo para los 3 Sistemas Troncales del proyecto con base en la disponibilidad y facilidades brindadas por ANDINATEL, tales como el Reloj Principal en la estación Quito y la disposición de fuentes secundarias.

El dimensionamiento de los equipos multiplexores SDH se ha realizado de acuerdo con la tabla 4.2, que indica la cantidad de tributarios equipados por estación:

ESTACION	Puertos E1	Puertos E1 adicionales	Puertos STM-1 eléctricos	Puertos STM-4 ópticos
Quito	756		8	2
Latacunga	63	21		
Ambato	567	21		4
Guaranda	63	21		
Babahoyo	63	21		
Milagro	63	21		
Guayaquil	504		4	2
Riobamba	63	21		
Alausí	63	21		
Azogues	63	21		
Cuenca	378			
El Quinche	63	21		
Cayambe	63	21		
Otavalo	63	21		
Ibarra	378			
El Angel	63	21		
Tulcán	126		4	
<b>TOTAL PUERTOS</b>	<b>3.402</b>	<b>252</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

Tabla 4.2. Cantidad de Tributarios equipados por Estación.

En la tabla 4.3. y 4.4 tenemos las matrices de circuitos E1 de los Sistemas Ambato – Cuenca y Quito – Tulcán. Los equipos correspondientes a el Quinche y El Angel provienen del traslado de los originalmente destinados para Bolívar y San Gabriel respectivamente.

Dado que las tarjetas de los tributarios de 2 Mbps de los equipos SMA 16 / 4 vienen equipados con 42 puertos, en los casos la cantidad original de tributarios solicitada por ANDINATEL no coincide con un múltiple de 42, existe

un excedente de puertos disponibles (en la tabla 4.2. nos indican los estos puertos, aparecen en la columna Puertos E1 adicionales) de 252 E1. Cabe anotar que aunque estos puertos están disponibles no están programadas en las crossconexiones que deben efectuarse a la entrega de los equipos aptos para el servicio; que queda a discrecionalidad de ANDINATEL en su utilización futura.”<sup>3</sup>

	QUITO	AMBATO	RIOBA.	ALAUSI	AZOGUES	CUENCA	GUAY.	TOTAL E1	SIM-I EQUIV.
QUITO						126		126	2
AMBATO			63	63		63		189	3
RIOBAMBA		63						0	0
ALAUSI		63						0	0
AZOGUES						63		63	1
CUENCA	126	63			63		126	126	2
GUAYAQUIL						126		0	0
TOTAL	126	189	0	0	63	126		504	8

**Tabla 4.3. Matriz de circuitos E1 del Sistema Ambato-Cuenca**

<sup>3</sup> ANDINATEL, RTFO ,Construcción y Mantenimiento, Quito – Ecuador , febrero 2003

	QUITO	CAYAMBE	OTAVALO	IBARRA	EL QUINCHE	EL ANGEL	TULCAN	TOTAL E1	STM-1 EQUIV.
QUITO		63		126			63 + 4STM-1	252 + 4STM-1	8
CAYAMBE	63							0	0
OTAVALO				63				63	1
IBARRA	126		63		63	63	63	189	3
EL QUINCHE				63				0	0
EL ANGEL				63				0	0
TULCAN	63 + 4STM-1			63				0	0
TOTAL	252 + 4STM-1	0	63	189	0	0	0	504 + 4STM-1	12

Tabla 4.4. Matriz de Circuitos E1 del Sistema Quito – Tulcán

#### 4.2.3. SISTEMA DE GESTIÓN

“Para gestionar adecuadamente el sistema de telecomunicaciones adquirido se dispone de un Centro de Gestión (Figura 4.4) ubicado en la estación Quito Centro, cuya composición es como se muestra:



- El sistema TNMS Core para los sistemas multiplexores SDH permite ejercer funciones de gestión de forma centralizada a la totalidad de la red de transmisión y a todos los elementos de red que hacen parte de la misma.
- Para la configuración del sistema de gestión se tomó como base la cantidad de sistemas SDH equipados, veintisiete (27) sistemas SMA 16 Series 4.
- A través de la red DCN (Data Communication Network) se establece la comunicación con cada uno de los multiplexores SDH.
- Existen la Red DCN Interna, mediante la cual los equipos SDH considerados llevan internamente la canalización de comunicación para transporte de información de gestión y la Red DCN externa, conformada por enrutadores CISCO que conectan los diferentes elementos localizados en las estaciones, como se observa en la figura 4.4.
- Para contar con una red DCN altamente confiable, esta dispone de Rutas Alternas de DCN (protección canal de datos) a través de canales

de 2Mbps vía la red troncal de microondas de ANDINATEL en las rutas Quito – Tulcán, Quito – Guayaquil y Quito – Cuenca.

Hasta este punto hemos considerado en forma general, la descripción de la Red, alcance en Planta Externa y el Sistema de Gestión. Ahora hablaremos en forma más detallada y técnica de los equipos y materiales usados. “<sup>4</sup>

#### 4.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA

El diseño de la topología de la Red Troncal de Fibra Óptica se basa en un tipo de Red Lineal, Bus o Multipunto (Figura4.5), donde se cursa tráfico entre 2 terminales extremas (TE) que son las ciudades principales de un sistema y se accede a este tráfico en diversos puntos que son las ciudades intermedias entre los extremos que mediante la propiedad de inserción y extracción (ADD-DROP) de señales, se logra la comunicación entre todas ellas.



Figura4.5. Topología Multipunto

<sup>4</sup> ANDINATEL, RTFO ,Construcción y Mantenimiento, Quito – Ecuador , febrero 2003

Esta troncal consiste en montar una red con equipos SDH sobre fibras ópticas UIT G.652 entre las ciudades mas importante del país utilizando la Ingeniería de Transmisión que requiera la Operadora, configurados para operar con la Jerarquía Digital Síncrona con velocidad de línea de 2.5 Gbps. STM-16.

La configuración de la red y el dimensionamiento de los equipos SDH se basa en la Matriz de Circuitos E1 y en la Matriz de Tributarios. Estas matrices se deben a cuadros de distribución de E1s por estación para cada sistema según la premisa del diseño o requerimientos de la Operadora. La cantidad de Tributarios por estación especifica el número de puertos a equipar y solo comprende los puertos principales fuera de los puertos (tarjetas) de protección.

A continuación tenemos los puertos de los tributarios E1(Tabla 4.5), de la Zona Central del País:

ESTACION	PUERTOS E1	PUERTOS STM1-E	PUERTOS STM4-O
QUITO	756	8	2
LATACUNGA	63	0	0
AMBATO	567	0	4
GUARANDA	63	0	0
RIOBAMBA	63	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1512</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

**Tabla 4.5. Matriz de Tributarios de la Zona Central del País especialmente de los Sistemas Quito – Guayaquil y Ambato –Cuenca**

Los sistemas consisten en un sistema lineal STM-16 que servirá para cursar el tráfico entre las ciudades descritas, con derivaciones mediante múltiplex de extracción / adición (ADM) intermedias del sistema para integrar estas ciudades a la Red Nacional de Transmisión por Fibra Óptica.

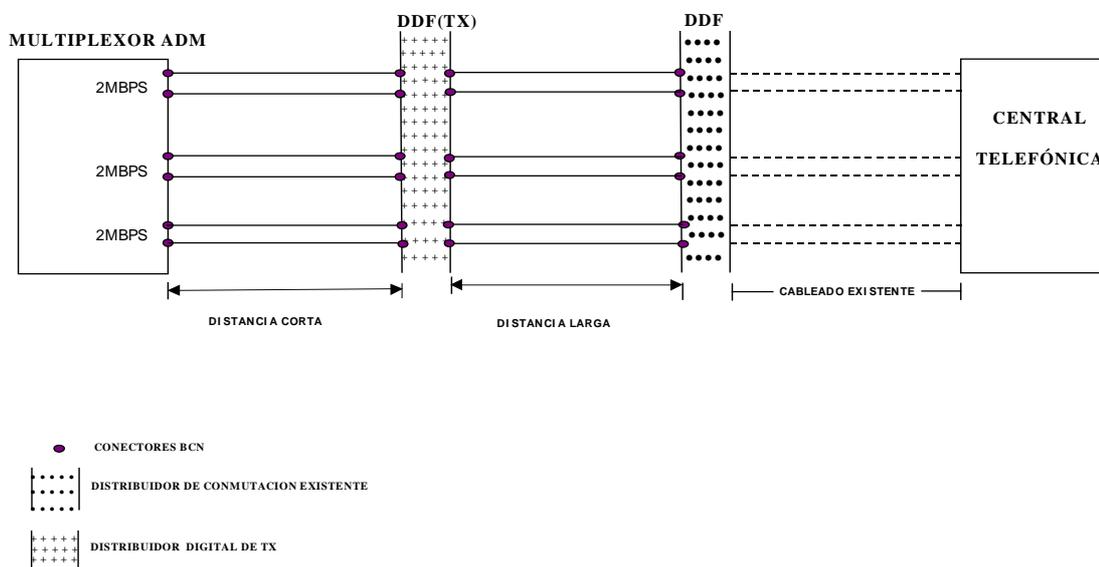
#### **4.3.1. DISTRIBUIDORES DIGITALES DDF Y CABLEADOS.**

“En cada estación se coloca todo el suministro de distribuidores para los salones de Transmisión y sus aditamentos, así como de todos los cables, escalerillas, herrajes, conectores, etc. necesarios, para colocar los tributarios de 2 Mbps de cada estación según la Matriz de Tributarios del diseño, colocados en un Distribuidor Digital DDF (Figura 4.6). Este DDF sirve para la conexión hacia el DDF del salón de conmutación para la comunicación con la central telefónica de la estación.

Todas las terminaciones de cableado de tributarios por lo general son con conectores BNC tipo hembra en el lado transmisión, utilizados para conexiones de E1's. “<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.



**Figura 4.6 Distribuidor Digital y Cableado de Tributarios para Equipos de Transmisión  
Red Troncal**

#### 4.3.2. SISTEMA DE GESTIÓN , RED DCN Y RESPALDO VÍA RADIO

La administración de los equipos de transmisión SDH se controla óptimamente mediante un sistema de Gestión de toda la Red (Network Management System NMS ) con un centro de control ubicado en la matriz de la operadora, el mismo que controlará los sistemas y contará con una red de comunicación de datos DCN , protegida vía canales de la red de microondas de la operadora como se observa en la Figura. 4.8. que es en base al ejemplo. Cada ciudad que se encuentra incluida en los sistemas de transmisión SDH es un Nodo de Red y dispone de la correspondiente Unidad de Control de Nodo que permita acceder a los equipos mediante un terminal local de acceso tipo portátil.

Todos los elementos de red de los sistemas, suministran su información de gestión a través de la misma red SDH de fibra óptica al NMS, vía los canales DCC que forman parte de la Red DCN (Data Communication Network).

Para garantizar la operación del sistema de Gestión al presentarse cortes en la fibra, se implementa una vía alterna a través de canales de 2 Mbps por medio de la red de microondas de la Operadora, hacia las localidades mas importantes en donde se conecta a través de Routers a los equipos ADM 16, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 4.8.

#### **4.3.3. RED DE SINCRONISMO**

“Para una red de sincronismo la Operadora diagrama el funcionamiento deseado de su red , siendo ella quien suministra la unidad maestra de reloj de referencia la cual esta ubicada en la matriz. Las consideraciones a tomarse en cuenta para realizar una red de sincronismo son:

- La Estación Principal del Sistema este equipada con un reloj de Estrato 1, definida por la ITU-T /ETSI como Primary Reference Clock (PRC) con una calidad de  $1 \times 10^{-11}$  por el estándar G.811 .

- Las estaciones terminales o con derivaciones poseen un SSU Synchronization Supply Unit (de Tránsito o Local) definidas por la ITU-T /ETSI con una calidad de  $1 \times 10^{-9}$  /  $1 \times 10^{-8}$  por los estándares G.812 I y G.812 II
- Los relojes de los equipos multiplexores con una calidad definida por el estándar G.813 de  $4.6 \times 10^{-6}$ . Además estos equipos tendrán la capacidad de rechazar las señales de reloj, por medio de configuraciones de prioridad, esto es si la calidad de la señal del reloj de una prioridad es inferior a la configurada, dicha prioridad es rechazada.

Con estas consideraciones se presenta un plan de sincronismo de la red SDH, teniendo como objetivo utilizar la señal de sincronismo de mejor calidad disponible en caso de presentarse caídas o fallas en el reloj de Estrato 1 o en la transmisión de la información.

Como se observa en la Figura 4.9. de sincronismo los números representan el estrato o calidad de la señal de reloj que manejarán el sincronismo del equipo SDH, siendo el Estrato 1 el de mayor prioridad que está dado por el PRC, el cual se sincroniza entre las estaciones por el SSM Sync. Status Message que es el bite de inicio de trama, en caso de que la señal del PRC falle el equipo adquiere la segunda prioridad de sincronismo, que es la señal que proviene del SSU de las estaciones terminales o con derivación que se obtiene de un

equipo propio de la estación o del sincronismo la Red de Microonda siendo esta de Estrato 2 o 3.

Como tercera prioridad de sincronismo se tiene la señal de reloj obtenida de la central AXE cuya calidad es menor a la del SSU de Estrato 2 o 3. Dada esta señal de bajo Estrato se utiliza el Holdover cuando se pierde la referencia externa se utiliza la información histórica para compensar el funcionamiento del oscilador local o reloj interno. En el sincronismo cuando se tienen diferentes equipos siempre existirán diferencias en frecuencia entre los relojes, lo que producen los Slips de trama o deslizamientos, los cuales son mas evidentes al aplicar un Holdover con un bajo estrato como se observa en la Estabilidad del Holdover en la Tabla 4.6., los cuales deben ser tomados en cuenta para la Red de Sincronismo. “<sup>6</sup>

<b>ESTRATO</b>	<b>ESTABILIDAD EN HOLDOVER (POR DIA)</b>	<b>SLIPS DE TRAMA</b>	<b>ESTANDAR ITU</b>
1	NA	1 EN 72 DIAS	G.811
2	+/- 1x10E-10	1 EN 7 DIAS	
3E	+/- 1x10E-8	14 SLIPS/DIA	
3	+/- 3.7x10E-7	510 SLIPS/DIA	
TRANSITO	+/- 1x10E-9	3 SLIPS/DIA	G.812
LOCAL	+/- 2x10E-8	28 SLIPS/DIA	G.812

**Tabla 4.6. Estabilidad del Holdover**

<sup>6</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.

#### 4.3.4. CONSUMO DE ENERGÍA DE LOS EQUIPOS.

“La alimentación de energía de los multiplexores SDH se hace desde equipos rectificadores con respaldos de baterías, desde tableros AC y DC con sus breakers. El consumo de energía de los equipos SDH y Gestión se calcula para cada estación, además cada tarjeta o equipo adicional al ADM tiene su consumo de potencia el cual también debe ser tomado en cuenta para un óptimo funcionamiento del equipo.

Un ejemplo de las características de Consumo de potencia de un equipo ADM se muestra a continuación:

Típico:	320 W / 100W
Máximo:	500 W / 280 W (no se necesita FAN Unit)
Rango de Voltaje DC:	40.5 a 75 V
Condiciones Climáticas:	-5....+45°C, 5%....90% humedad relativa.” <sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.

#### **4.4.ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPOS ADM-1/ADM-4/ADM-16**

##### **4.4.1.GENERALIDADES DE EQUIPOS ADM**

Para un Red Troncal de estas características mencionadas en la descripción técnica tiene equipos multiplexores ADM-16 con las siguientes consideraciones:

- “Tener capacidad de extracción/adición de E1’s en cada estación de la red y amplificadores ópticos o interfaces ópticas especiales en caso de ser requeridos. Cuando la capacidad de tributarios requerida en una estación, de acuerdo con la Matriz de Circuitos E1, supere la capacidad máxima de tarjetas que puede alojar el sub-bastidor del multiplexor ADM-16, el equipamiento de tributarios restante debe efectuarse exclusivamente con la instalación de otro equipo multiplexor conectado a nivel óptico, preferiblemente mediante interfaces de tipo intra-office, estas son internas en los equipos.
  
- Deben ser ampliables y modulares, de forma que sea posible modificar la composición del mismo de forma fácil y sin interrumpir el servicio. Con esto se incrementa o modifica redundancias, se aumenta el número de interfaces de salida/entrada, se cambia elementos averiados, y se pueden sustituir tarjetas de versiones mejoradas.

- Los multiplexores ADM-16 tienen capacidad de ser integrados a sistemas de mayor capacidad, por medio de multiplexaje por longitud de onda (DWDM), o mediante la utilización de la nueva jerarquía SDH de 10 Gbps (STM-64), utilizando el mismo medio de cable de fibra óptica. El Sistema de Gestión es capaz de ser actualizado para incorporar sistemas DWDM y STM-64.

- Los módulos de los equipos ADM deben ser de fácil y rápida sustitución, cada uno de ellos con una función específica para su identificación, con sus respectivos símbolos y rótulos necesarios. Además realizar reparaciones y ajustes de los módulos en el menor tiempo tanto en montaje como desmontaje de los mismos.

- Los Equipos ADM-16 tienen la capacidad de ser configurados en anillos bidireccionales con protección a 2 o 4 fibras, para la formación de cierre de anillos nacionales. Además contar con facilidades para intercambiar el tráfico entre tributarios y agregados; y entre tributarios con el fin de permitir el intercambio de tráfico con la red nacional y con las redes locales. Capacidad para comunicación con puertos a 2.048 Mbps, 155 Mbps y 622 Mbps en las cantidades indicadas por la Matriz de Circuitos E1 como por la Tabla de Tributarios por estación.”<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.

#### **4.4.2. EQUIPO DE MULTIPLEXACIÓN ADM-1/ADM-4**

Las características básicas SDH del equipo de Multiplexación ADM-1/ADM-4 son:

##### **4.4.2.1. “ CAMPO DE APLICACIÓN.**

El multiplexor ADM-1/ADM-4 tiene capacidad de conexión cruzada a los niveles VC-12, VC-3 y VC-4, puede multiplexar y demultiplexar señales de 2 Mbps, 34 Mbps, 45 Mbps, 140Mbps, STM-1 eléctrico y óptico, y STM-4 óptico en una multitrama SDH STM-4.

Este equipo es de última generación, con un alto nivel de integración, que permite en un solo armazón cerrar anillos de distinta capacidad como por ejemplo para el ADM-1 /ADM-4: permite cerrar un anillo STM-1 y un STM-4 (cuando los interfaces STM-4 estén disponibles).

El equipo puede funcionar en configuración terminal TM o de extracción /inserción ADM en conexiones lineales. El multiplexor ADM-1/ADM-4 se puede usar también en una configuración ADM, en anillos con protección de conexión de sub-red SNCP (Sub-Network Connection Protection), a nivel VC-12, VC-3 y VC-4.

En todas las aplicaciones el ADM-1/ADM-4 puede configurarse como cross conexión SDH del tipo 4-3-1 con capacidad de conexión cruzada a los niveles VC-12, VC-3 y VC-4, y con una capacidad de hasta 16 STM-1 equivalentes.

#### **4.4.2.2.PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.**

El multiplexor ADM-1/ADM-4 opera interfaces de 2 Mbps, 34 Mbps, 45 Mbps, 140 Mbps y STM-1 eléctrico y óptico, y STM-4 óptico. Las interfaces de 2 Mbps son requeridos para las señales no-estructuradas (UIT-T G.703) y para las estructuradas (UIT-T G.703, 704).

El multiplexor ADM-1/ADM-4 tiene una memoria no volátil para almacenar la configuración, asignaciones de transconexión, composición de los límites parametricos de alarma, etc. Implementa el sistema de protección SNCP (Sub-Network Connection Protection) a nivel VC-12, VC-3 y VC-4, de acuerdo a UIT-T G.841. (Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital Síncrona).

Posibilita el acceso al trayecto VC-12 VC-3 y VC-4 para la monitorización del rendimiento de extremo a extremo de los circuitos que son terminados por el multiplexor ADM-1/ADM-4. El equipo debe realizar monitoreo de funcionamiento (performance monitoring) y disponer de los datos de ES, SES, BBE, tanto en el extremo cercano como en el extremo lejano de todos los VC's

según la recomendación UIT-T G.826 de Parámetros y Objetivos de las características de error de extremo a extremo para conexiones y trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante de la Red.

El equipo ADM-1/ADM-4 proporciona la función de mediación de protocolos estándar Q.x, de forma que facilite el transporte a través de la propia Red SDH hacia el centro de gestión centralizado, de la información de gestión de otros equipos con dicha interfaz de gestión. El equipo ADM-1/ADM-4 es capaz de aceptar la telecarga de software, o aplicaciones de software sin afectar el tráfico.

La alimentación de energía del armazón del multiplexor no permite que la avería de una unidad de alimentación individual, ni la de un módulo de distribución de energía individual pueda causar una interrupción de servicio del armazón entero. Se requiere que el bastidor y/o los armazones dispongan de dos entradas para fuentes de energía normal y de reserva. “<sup>9</sup>

#### **4.4.2.3. “INTERFACES EXTERNAS.**

##### **a) General.**

Los interfaces del equipo ADM-1/ADM-4 cumplen con todos los siguientes estándares pertinentes de SDH como es definido por la UIT-T:

---

<sup>9</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.

- UIT-T G.703 Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas
- UIT-T G.707 Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital Síncrona
- UIT-T G.773 Series de protocolos de interfaces Q para la gestión de sistemas de transmisión
- UIT-T G.823 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s
- UIT-T G.825 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital Síncrona
- UIT-T G.957 Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital Síncrona
- UIT-T G.958 Sistemas de línea digitales basados en la Jerarquía Digital Síncrona para utilización en cables de fibra óptica.

#### **b) Interfaz Óptico STM-4.**

El equipo ADM-1/ADM-4 tiene un interfaz óptico STM-4. El interfaz óptico STM-4 opera en 622 Mbps según la recomendación UIT-T G. 957 con interfaces del tipo S 4.1, L 4.1, L 4.2.

En el caso de que el número de interfaces ópticos de la tarjeta STM-4 sea mayor de un interfaz, se requiere que pueda elegirse el tipo de cada uno de

ellos, de entre los especificados en el párrafo anterior, por ejemplo si la tarjeta tiene dos interfaces ópticas, el primero puede ser del tipo S4.1 y el otro del tipo L4.1 o L4.2, para de esta manera brindar una absoluta flexibilidad. Las interfaces ópticas se proporcionan con conectores ópticos FC/PC.

La tolerancia de la fluctuación del interfaz óptico debe satisfacer los requisitos descritos de la recomendación UIT-T G.958. La generación de fluctuación de fase y la desviación de la frecuencia del interfaz STM-4 debe satisfacer los requisitos de estabilidad a corto plazo de la recomendación UIT-T G.783. El equipo de multiplexación ADM-1/ADM-4 tiene capacidad de hasta cinco (5) interfaces STM-4 ópticos. Se requiere la protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection).

### **c) Interfaz Óptico STM-1.**

El equipo ADM-1/ADM-4 tiene una interfaz óptico STM-1. La interfaz óptica STM-1 opera en 155.520 Mbps según la UIT-T G. 957 con interfaces S 1.1, L 1.1, L 1.2. El número de interfaces ópticos de la tarjeta STM-1 debe ser mayor de un interfaz, y se requiere que se pueda elegir el tipo de cada uno de ellos de forma independiente, de entre los especificados en el párrafo anterior, por ejemplo si la tarjeta tiene dos interfaces ópticos, el primer interfaz óptico puede ser del tipo S1.1 y el otro del tipo en resumen que sea absolutamente flexible. Los interfaces ópticos se proporcionan con conectores ópticos FC/PC.

La tolerancia de la fluctuación del interfaz óptico debe satisfacer los requisitos descritos en la recomendación UIT-T G. 958. La generación de fluctuación de fase y la desviación de la frecuencia del interfaz STM-1 debe satisfacer los requisitos de estabilidad a corto plazo de la recomendación UIT-T G.783. (Características de los bloques funcionales del equipo de jerarquía digital Síncrona). Se requieren hasta dieciséis (16) interfaces STM-1 ópticos.

**d) Interfaz Eléctrico STM-1.**

El multiplexor ADM-1/ADM-4 tiene interfaz eléctrico STM-1 conforme a UIT-T G. 703. Los interfaces STM-1 eléctrico están disponibles en 75 Ohms desbalanceados con conectores BNC. El equipo de multiplexación ADM-1/ADM-4 tiene capacidad de hasta dieciséis (16) interfaces STM-1 eléctricos. Se requiere la protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection).

**e) Interfaz 2,048 Mbps.**

El interfaz 2 Mbps del multiplexor STM-4 opera a 2.048 Mbps según es descrito en la recomendación UIT-T G.703 y G.704 (Estructura de la trama Síncrona utilizados a niveles jerárquicos 1544, 6312, 2048, 8448,y 44736 Kbps). Los interfaces de 2 Mbps están disponibles con 75 Ohms desbalanceados con conectores BNC. La tolerancia de fluctuación y desviación de los puertos de entrada, la generación de fluctuación intrínseca, y la transferencia de

fluctuación y desviación están dentro de los límites de acuerdo a la recomendación del UIT-T G. 823. El equipo multiplexor ADM-1/ADM-4 tiene una capacidad mínima de sesenta y tres (63) interfaces de 2 Mbps eléctrico. Se requiere la posibilidad de protección 1 a N (1:N) de tarjeta.

**f) Interfaz Eléctrico 34 Mbps.**

El equipo ADM-1/ADM-4 tiene la posibilidad de disponer de interfaz eléctrico de 34 Mbps conforme a la recomendación del UIT-T G.703. Los interfaces 34 Mbps están disponibles en 75 ohms desbalanceados con conectores BNC. El equipo de multiplexación ADM-1/ADM-4 tiene una capacidad mínima de nueve (9) interfaces 34 Mbps eléctrico.

**g) Interfaz Eléctrico 45 Mbps.**

El equipo ADM-1/ADM-4 tiene la posibilidad de disponer de interfaz eléctrico de 45 Mbps conforme a la recomendación del UIT-T G. 703. Los interfaces de 45 Mbps están disponibles en 75 ohms desbalanceados con conectores BNC. El equipo de multiplexación ADM-1/ADM-4 tiene una capacidad de hasta nueve (9) interfaces de 45 Mbps eléctrico.

**h) Interfaz Eléctrico 140 Mbps.**

El equipo ADM-1/ADM-4 tiene la posibilidad de disponer de interfaz eléctrico de 140 Mbps conforme a la recomendación del UIT-T G. 703. Los interfaces 140Mbps están disponibles en 75 ohms desbalanceados con conectores BNC.

El equipo de multiplexación ADM-1/ADM-4 tiene una capacidad de hasta doce (12) interfaces 140 Mbps eléctrico.

**i) Canales de servicio (EOW) y auxiliares.**

El multiplexor ADM-1/ADM-4 tiene la capacidad de transmitir un canal de servicio por los interfaces ópticos a través del bytes E1 y E2 de la SDH. Deben realizarse al menos los siguientes tipos de llamada:

-llamada selectiva

-llamada general

Además debe ser posible transmitir por los interfaces ópticos un canal auxiliar a 64Kbit/s de acuerdo a la recomendación UIT-T G.703 a través del byte F1 de la SDH. El canal auxiliar debe estar disponible externamente con interfaces G.703 ó V.11.

**4.4.2.4. ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACIÓN.**

Los formatos para la multiplexación y creación del STM-1 cumplen con la recomendación UIT-T G.707. Los tipos de funciones del multiplexor son basados en las norma UIT-T G.783 (Características de los bloques funcionales del equipo de jerarquía digital Síncrona).

En particular, para la unidad que implementa la funcionalidad de conexión cruzada (matriz) se requiere una capacidad de conexión cruzada de 4x4 STM-1 equivalentes. Se requiere la protección (1+1) para la tarjeta que realiza la funcionalidad de conexión cruzada (matriz). Se realiza conexiones a nivel de VC-12, VC-3 y VC-4, con señales bidireccionales punto a punto y señales unidireccionales, punto a punto y punto- multipunto, conexiones en bucle de señales en paso y la funcionalidad de Drop & Continue, según la Recomendación UIT-T G.842 (Interfuncionamiento de las Arquitecturas de protección de redes de la jerarquía digital Síncrona), para la protección de la interconexión de anillos a través de dos nodos.

#### **4.4.2.5. SINCRONIZACIÓN.**

Las unidades de reloj del equipo ADM cumplen con el estándar de la UIT-T G.813 (Características de Temporización de relojes subordinados de equipos de jerarquía digital Síncrona) El equipo debe procesar los mensajes de sincronización SSM (byte S1) según la UIT-T G.707., que se observa en la Tabla. 4.7.

<b>Byte S1</b>	<b>Configuración</b>
0000	Calidad desconocida
0001	Reserva
0010	G.811
0011	Reserva
0100	G.812. Transito
0101	Reserva
0110	Reserva
0111	Reserva
1000	G.812. Local
1001	Reserva
1010	Reserva
1011	SETS (Synchronus equipmentting source)
1100	Reserva
1101	Reserva
1110	Reserva
1111	No Usado

**Tabla 4.7. Configuración del Byte S1 de encabezados de Multiplexación**

En modo “holdover” el reloj interno del equipo garantiza una desviación de frecuencia menor de 1 ppm durante las primeras 24 horas, de acuerdo con la G.813. El equipo ADM se sincroniza desde al menos las siguientes fuentes:

- Señal STM-N (N= 1 y 4);
- Señal de 2 Mbps, conforme a lo descrito en la sección relativa.

- Una señal externa de 2 MHz, 75 ohms desbalanceada con conector BNC.
- El equipo debe dar una salida de 2 MHz, 75 Ohms desbalanceada con conector BNC. “<sup>10</sup>

Se puede establecer una tabla de prioridades de las fuentes de sincronización.

#### **4.4.3. EQUIPO DE MULTIPLEXACIÓN ADM-16**

Las características básicas de SDH del equipo de Multiplexación ADM-16 son:

##### **4.4.3.1. “CAMPO DE APLICACIÓN:**

El multiplexor ADM-16 tiene capacidad de conexión cruzada a los niveles VC-12, VC-3 y VC-4, y puede multiplexar y demultiplexar señales de 2 Mbps, 34 Mbps, 45 Mbps, 140Mbps, STM-1 eléctrico y óptico, STM-4 óptico y STM-16 óptico, en una multitransmisión SDH STM-16.

El equipo puede funcionar en configuración terminal TM o de extracción/inserción ADM en conexiones lineales. Este equipo debe ser de última generación, con un alto nivel de integración, que permita en un solo armario cerrar anillos de distinta capacidad por ejemplo para el ADM-16. Que permita como por ejemplo cerrar un anillo STM-1 y un STM-4 y un anillo STM-

---

<sup>10</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001

16. El multiplexor ADM-16 se puede usar también en una configuración ADM, en anillos con protección SNCP/I, evolucionable a SNCP/N, a nivel VC-12, VC-3 y VC-4, así como anillos del tipo MS-Spring para 2 y 4 fibras. En todas las aplicaciones el ADM-16 puede configurarse como crossconnect SDH del tipo 4-3-1 con capacidad de conexión cruzada a los niveles VC-12, VC-3 y VC-4, y con una capacidad de hasta 64 STM-1 equivalentes.

#### **4.4.3.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS:**

El multiplexor ADM-16 puede operar interfaces de 2 Mbps, 34 Mbps, 45 Mbps, 140Mbps y STM-1 eléctrico y óptico, STM-4 óptico y STM-16 óptico. Los interfaces de 2 Mbps son requeridos para las señales no-estructuradas (ITU G. 703) y para las estructuradas (ITU G. 703, 704).

El multiplexor ADM-16 tiene una memoria no volátil para almacenar la configuración, asignaciones de transconexión, composición de los límites paramétricos de alarma, etc. Implementa el sistema de protección SNCP/I evolucionable a SNCP/N a nivel VC-12, VC-3 y VC-4, de acuerdo a UIT-T G.841. Se requiere de protección en línea de 2 y 4 fibras. Posibilita el acceso al trayecto VC-12 VC-3 y VC-4 para la monitorización del rendimiento extremo-extremo de los circuitos que son terminados por el multiplexor ADM-16.

El equipo debe realizar medidas de calidad (performance monitoring) y disponer de los datos de ES, SES, BBE, tanto en el extremo cercano como en el extremo lejano de todos los VCs según la recomendación UIT-T G.826.

El equipo ADM-16 proporciona la función de mediación de protocolos estándar Qx, de forma que facilite el transporte a través de la propia Red SDH hacia el centro de gestión centralizado, de la información de gestión de otros equipos con dicho interfaz de gestión. El equipo ADM-16 es capaz de aceptar la telecarga de software sin afectar el tráfico.

La alimentación de energía del armazón del multiplexor no permite que la avería de una unidad de alimentación individual ni la de un módulo de distribución de energía individual pueda causar una interrupción de servicio del armazón entero. Se requiere que el bastidor y/o los armazones dispongan de entradas para 2 fuentes de energía normal y de reserva.

#### **4.4.3.3. INTERFACES EXTERNOS.**

##### **a) General.**

Los interfaces del equipo ADM-16 cumplen con todos los siguientes estándares pertinentes de SDH como es definido por la UIT-T:

- UIT-T G.703 Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas

- UIT-T G.707 Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital Síncrona
- UIT-T G.773 Series de protocolos de interfaces Q para la gestión de sistemas de transmisión
- UIT-T G.823 Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s
- UIT-T G.957 Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital Síncrona
- UIT-T G.958 Sistemas de línea digitales basados en la Jerarquía Digital Síncrona para utilización en cables de fibra óptica

**b) Interfaz STM-16.**

El interfaz STM-16 opera a 2,5 Gbit/s según ITU G.957 con interfaces ópticos de los tipos: S.16.1, L 16.1, L 16.2. Se debe disponer de interfaces STM-16, L 16.2 con Láser del tipo coloreado con diferentes longitudes de onda para permitir en el futuro la utilización con sistemas “Dense Wavelength Division Multiplexing” (DWDM), de acuerdo a la recomendación UIT-T G.957. ,con una capacidad mínima de 32 longitudes de onda.

En el caso de que el número de interfaces ópticos de la tarjeta STM-16 sea mayor de un interfaz, se puede elegir el tipo de cada uno de ellos, de entre los especificados en los párrafos anteriores, por ejemplo si la tarjeta tiene dos interfaces ópticos, el primer interfaz puede ser del tipo S16.1 y el otro del tipo

L16.1 o L16.2, siendo absolutamente flexible. Los interfaces ópticos se proporcionan con conectores ópticos FC/PC.

La tolerancia a la fluctuación de fase del interfaz óptico debe satisfacer los requisitos descritos en la recomendación UIT-T G. 958 La generación de fluctuación de fase y la desviación de la frecuencia del interfaz STM-16 debe satisfacer los requisitos de estabilidad a corto plazo de la recomendación UIT-T G.783. El equipo multiplexor ADM-16 tiene una capacidad de hasta 4 interfaces STM-16 ópticos. Se requiere la protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection).

#### **c) Interfaz Óptico STM-4.**

El equipo ADM-16 tiene un interfaz óptico STM-4. El interfaz óptico STM-4 opera en 622 Mbps según la recomendación UIT-T G. 957 con interfaces del tipo S 4.1, L 4.1, L 4.2. En el caso de que el número de interfaces ópticos de la tarjeta STM-4 sea mayor de un interfaz, se requiere que pueda elegirse el tipo de cada uno de ellos, de entre los especificados en el párrafo anterior, por ejemplo si la tarjeta tiene dos interfaces ópticos, el primer interfaz puede ser del tipo S4.1 y el otro del tipo L4.1 o L4.2, en resumen que sea absolutamente flexible. Los interfaces ópticos se proporcionan con conectores ópticos FC/PC. La tolerancia de la fluctuación del interfaz óptico debe satisfacer los requisitos descritos en la recomendación UIT-T G. 958. La generación de fluctuación de

fase y la desviación de la frecuencia del interfaz STM-4 debe satisfacer los requisitos de estabilidad a corto plazo de la recomendación UIT-T G.783.

El equipo de multiplexación ADM-16 tiene una capacidad de hasta dieciséis (16) interfaces STM-4 ópticos. Se requiere la protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection).

**d) Interfaz Optico STM-1.**

El equipo ADM-16 tiene una interfaz óptico STM-1. La interfaz óptico STM-1 opera en 155.520 Mbps según la recomendación UIT-T G. 957 con interfaces S 1.1, L 1.1, L 1.2 . El número de interfaces ópticos de la tarjeta STM-1 debe de ser mayor de un interfaz, y se requiere que pueda elegirse el tipo de cada uno de ellos de forma independiente, de entre los especificados en el párrafo anterior, por ejemplo si la tarjeta tiene dos interfaces ópticos, el primer interfaz puede ser del tipo S1.1 y el otro del tipo L1.1 o L1.2. Los interfaces ópticos se proporcionan con conectores ópticos FC/PC.

La tolerancia de la fluctuación del interfaz óptico debe satisfacer los requisitos descritos en la recomendación UIT-T G. 958. La generación de fluctuación de fase y la desviación de la frecuencia del interfaz STM-1 debe satisfacer los requisitos de estabilidad a corto plazo de la recomendación UIT-T G.783. El equipo de multiplexación ADM-16 tiene una capacidad de hasta sesenta y

cuatro (64) interfaces STM-1 ópticos. Se requiere la protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection).

**e) Interfaz Eléctrico STM-1.**

El multiplexor ADM-16 tiene interfaz eléctrico STM-1 conforme a la recomendación UIT-T G. 703. Los interfaces STM-1 eléctricos están disponibles en 75 ohms desbalanceados con conectores BNC. El equipo de multiplexación ADM-16 tiene una capacidad de hasta sesenta y cuatro (64) interfaces STM-1 eléctrico. Se requiere la protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection). Se requiere la posibilidad de protección 1 a N (1:N) de tarjeta.

**f) Interfaz 2,048 Mbps.**

El interfaz 2 Mbps del multiplexor STM-16 opera a 2.048 Mbps según es descrito en las recomendaciones UIT-T G.703 y G.704. Los interfaces de 2 Mbps están disponibles con 75 ohms desbalanceados con conectores BNC. La tolerancia de fluctuación y desviación de los puertos de entrada, la generación de fluctuación intrínseca, y la transferencia de fluctuación y desviación están dentro de los límites de acuerdo a la recomendación UIT-T G.823. El equipo de multiplexación ADM-16 tiene una capacidad mínima de trescientos setenta y ocho (378) interfaces 2 Mbps. Se requiere la protección 1 a N (1:N) de tarjeta.

**g) Interfaz Eléctrico 34 Mbps.**

El equipo ADM-16 tiene la posibilidad de disponer de interfaz de eléctrico 34 Mbps conforme a la recomendación UIT-T G. 703. Los interfaces 34 Mbps están disponibles en 75 ohms desbalanceados con conectores BNC. El equipo de multiplexación ADM-16 tiene una capacidad mínima de veinticuatro (24) interfaces 34 Mbps eléctricos. Se requiere la protección 1 a N (1:N) de tarjeta.

**h) Interfaz Eléctrico 45 Mbps.**

El equipo ADM-16 tiene la posibilidad de disponer de interfaz eléctrico 45 Mbps conforme a la recomendación UIT-T G. 703. Los interfaces 45 Mbps están disponibles en 75 ohms desbalanceados con BNC. El equipo de multiplexación ADM-16 tiene una capacidad mínima de veinticuatro (24) interfaces 45 Mbps eléctricos. Se requiere la protección 1 a N (1:N) de tarjeta.

**i) Interfaz Eléctrico 140 Mbps.**

El equipo ADM-16 tiene la posibilidad de disponer de interfaz eléctrico 140 Mbps conforme a la recomendación UIT-T G. 703. Los interfaces 140Mbps están disponibles en 75 ohms desbalanceados con conectores BNC. El equipo ADM-16 tiene una capacidad de hasta sesenta y cuatro (64) interfaces de 140 Mbps eléctricos. Se requiere la protección 1 a N (1:N) de tarjeta.

**j) Canales de servicio (EOW) y auxiliares.**

El multiplexor ADM-16 tiene la capacidad de transmitir un canal de servicio por los interfaces ópticos a través del bytes E1 y E2 de la SDH. Deben ser realizables al menos los siguientes tipos de llamada:

- llamada selectiva

- llamada general

El equipo debe permitir extender el canal de servicio, por medio de un interfaz "4-hilos DTMF", externo. Además debe ser posible transmitir por los interfaces ópticos un canal auxiliar a 64Kbit/s de acuerdo a la recomendación UIT-T G.703 a través del byte F1 de la SDH. El canal auxiliar debe estar disponible externamente con interfaces G. 703 ó V11.

#### **4.4.3.4. ESTRUCTURA DE MULTIPLEXACIÓN.**

Los formatos para la multiplexación y creación del STM-1 cumplen con la recomendación UIT-T G. 707. Los tipos de funciones del multiplexor según la recomendación UIT-T G. 783.

Para la unidad que implementa la funcionalidad de conexión cruzada (matriz) se requiere una capacidad de conexión cruzada de 64 STM-1 equivalentes. Se requiere la protección 1 más 1 (1+1) para la tarjeta que realiza la funcionalidad de conexión cruzada (matriz).

Se puede realizar conexiones a nivel de VC-12, VC-3 y VC-4, con señales bidireccionales punto a punto y señales unidireccionales, punto a punto y punto- multipunto, conexiones en bucle de señales en paso y la funcionalidad de Drop & Continue, según la recomendación UIT-T G.842 (Interfuncionamiento de las Arquitecturas de protección de redes de la jerarquía digital Síncrona), para la protección de la interconexión de anillos a través de dos nodos.

#### **4.4.3.5. SINCRONIZACIÓN.**

Las unidades de reloj del equipo ADM-1 cumplen con el estándar G.813 definido por la UIT-T. El equipo debe procesar los mensajes de sincronización SSM (byte S1) según la recomendación UIT-T G.707. (Tabla 4.7.)

En modo “holdover” el reloj interno del equipo garantiza una desviación de frecuencia menor de 1 ppm durante las primeras 24 horas, de acuerdo con la recomendación UIT-T G.813. El equipo ADM se sincronizará desde al menos con las siguientes fuentes:

- Señal STM-N ( N= 1, 4 y 16)
- Señal de 2 Mbps, conforme a lo descrito en la sección relativa.
- Una señal externa de 2 MHz, 75 ohms desbalanceada con conector BNC.
- Para la conexión se utilizará cable coaxial delgado.

-Se puede establecer una tabla de prioridades de las fuentes de sincronización.

Se requiere la protección 1 más 1 (1+1) para la tarjeta de reloj de equipo.”<sup>11</sup>

#### **4.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN**

El objetivo de este documento es el de especificar las características básicas de los Equipos de Gestión de Red SDH.

##### **4.5.1. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE GESTIÓN**

“ El sistema de gestión son capaces de supervisar y gestionar todos los elementos de red suministrados. El sistema de gestión cumple con los requerimientos de planificación, operación, administración, establecimiento de circuitos, instalación y mantenimiento de redes SDH y de los servicios soportados por las mismas. Para cumplir estos requisitos el sistema de gestión de la red SDH debe tener las siguientes funciones:

- Función de Gestión de Elementos de Red: Permite la gestión y operación de cada uno de los equipos que forman una sub-red.
- Función de Gestión de Sub-red: Permite la gestión y operación a nivel

---

<sup>11</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.

de red de distintas sub-redes.

Para poder garantizar la realización de estas funciones aún en el caso de fallo se requiere disponer de:

- Una red de comunicaciones para el sistema de gestión altamente confiable: Esta red debe permitir que ante cortes en la fibra o fallo en los elementos de red, la cabecera pueda seguir accediendo a los elementos de red gestionados.
  
- Un sistema de gestión protegido contra fallos de HW del propio sistema: Para lo cual se puede disponer de dos sistemas idénticos instalados en distintos lugares. Estos sistemas funcionarán en configuración active/standby, es decir, cuando uno falla (activo) la red pasara a ser gestionada automáticamente por el sistema de reserva.

#### **4.5.2. SISTEMA DE GESTIÓN BASADO EN ESTÁNDARES**

Los sistemas de gestión están de acuerdo con las principales recomendaciones de la UIT-T, en base a las siguientes recomendaciones:

#### **4.5.2.1. TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN DE GESTIÓN OSI.**

- a) X.700. Marco de gestión para interconexión de sistemas abiertos de telecomunicaciones.
- b) Estructura de la información de gestión:
  - b.1) X.720. Modelo de información de gestión.
  - b.2) X.721. Definición de información de gestión.
  - b.3) X.722. Guía para la definición de objetos gestionados.
- c) Funciones de gestión de sistemas:
  - c.1) X.730. Función de gestión de objetos.
  - c.2) X.731. Función de gestión de estados.
  - c.3) X.733. Función de comunicación de alarmas.
  - c.4) X.734. Función de comunicación de eventos.
  - c.5) X.735. Función de control de registros históricos.

#### **4.5.2.2. GESTIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES.**

- a) M.3010. Principios para gestionar una red de telecomunicaciones en los aspectos de arquitectura física, funcional y de información.
- b) M.3020. Metodología de especificación de interfaces TM.
- c) M.3200. Servicios de gestión TM.

- d) M.3300. Facilidades de gestión presentadas en el interfaz F.
- e) M.3400. Funciones de gestión TM: Gestión de fallos, configuración prestaciones, seguridad y tarificación.

#### **4.5.2.3. GESTIÓN DE REDES DE TRANSMISIÓN.**

Arquitectura de la sub-red de gestión de SDH Se basa en la ITU G.784. de Gestión de la SDH.

#### **4.5.3. POSIBILIDADES DE EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN**

Los sistemas propuestos deben contemplar la problemática del cambio de versiones software de los sistemas, garantizándose estas operaciones sin causar problemas en la red ni en el servicio.

Posibilidad de admitir el crecimiento o variaciones en los equipos y topología de las sub-redes SDH, para lo cual además de gestionar los equipos Múltiplex SDH (ADM's), equipos radio SDH, se pueden también gestionar equipos tales como radioenlaces PDH, terminales de línea, cross conexiones, amplificadores ópticos y multiplexadores de longitud de onda.

#### **4.5.4. FLEXIBILIDAD DE SISTEMA ADAPTABLE A CUALQUIER**

##### **NECESIDAD DE EXPLOTACIÓN**

Disponer de terminales de usuario tanto locales como remotos basados en estaciones de trabajo o computadores personales. Se pueden definir distintos perfiles ó categorías de usuarios del sistema. Cada perfil permite la realización de distintas funciones del sistema, sobre determinados equipos de la sub-red previamente definidos.

#### **4.5.5.FUNCIÓN DE GESTIÓN DE ELEMENTOS DE RED**

##### **4.5.5.1. ELEMENTOS A GESTIONAR.**

El administrador de elementos debe ser capaz de gestionar utilizando la misma plataforma HW/SW, todos los elementos de red , así como Multiplexores SDH: ADM1, ADM4, ADM16, y equipos de radio nx2 Mbps y otros.

##### **4.5.5.2.REQUISITOS DE GESTIÓN DE ELEMENTOS DE RED.**

Los requisitos de gestión están especificados de acuerdo con la subdivisión en las áreas funcionales de Gestión Configuración, Fallos, Prestaciones y Seguridad de acuerdo a la recomendación M.3010 de la UIT-T.

#### **4.5.5.3.REQUERIMIENTOS DE COMUNICACIONES DEL SISTEMA DE GESTIÓN**

Los elementos de red disponen de un interfaz de gestión Q3 basado en las recomendaciones de la UIT-T G.773 y Q.811/Q.812 y por tanto responderán a:

- Capa 6 (Presentation Layer): ISO
- Capa 5 (Session Layer): ISO
- Capa 4 (Transport Layer): ISO
- Capa 3 (Network Layer): ISO
- Capa 2 (Data Link Layer): ISO
- Capa 1 (Physical Layer): Coaxial 10b2 ó 10bT.

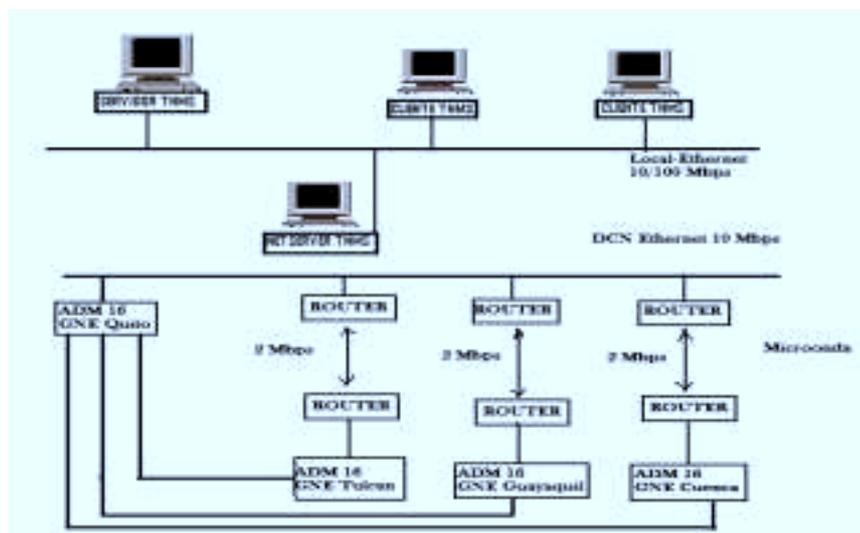
El canal de gestión inserto en la propia trama síncrona Qecc estará de acuerdo con la recomendación de la UIT-T G.784.

El sistema de gestión dispone como mínimo de doble acceso a la red de elementos de red gestionada. Es decir, se dispone como mínimo de dos elementos de red cabecera, en la red.

La gestión de una red de comunicaciones confiable es basada en los protocolos anteriormente mencionados y mediante la utilización de routers que sean necesarios. Las comunicaciones entre el sistema de gestión y los elementos de red cabecera se realizan utilizando circuitos protegidos de 2 Mbps de la propia red SDH. El diseño de la red de comunicaciones debe garantizar como mínimo que ante un fallo simple en las líneas de comunicaciones utilizadas por el sistema de gestión (2 Mbps) o los elementos de red cabecera, la red se sigue gestionando.

#### **4.5.6. RED DCN Y RESPALDO MICROONDA**

Una vez instalado el Centro de Gestión se realiza la configuración y el reconocimiento de lo NE para formar la red de comunicación de datos de la red (DCN) mediante la ejecución de los programas del Sistema de Gestión desde el centro de gestión, los equipos multiplexores SDH llevan internamente la canalización de comunicación para el transporte de información de gestión mediante una DCN interna. La red DCN externa esta conformada por enrutadores conectando los diferentes elementos localizados en las estaciones (respaldo microonda), como se observa en la Figura 4.10., estos elementos utilizan canales de 2 Mbps, de esta manera las estaciones extremas de los sistemas (ciudades principales) se convierten en elementos de red de entrada GNE (Gateway Network Elements) de la red DCN, adicionales a los multiplexores en la estación principal.



**Figura 4.10. Red DCN Sistema de Gestión**

Para el respaldo de la Gestión se necesita de canales de 2 Mbps de la red de microondas de la Operadora, desde los terminales extremos de un sistema, por medio de Routers son conectados a los equipos multiplexores en los extremos tal como se muestra en la Ingeniería de Transmisión.

El respaldo consiste en caso de que se presente un corte en cualquier parte de un sistema se comuniquen los extremos por medio de la microonda informando los eventos y reenviando la información de los enlaces intermedios de tal manera de no perder la comunicación de todo el sistema.

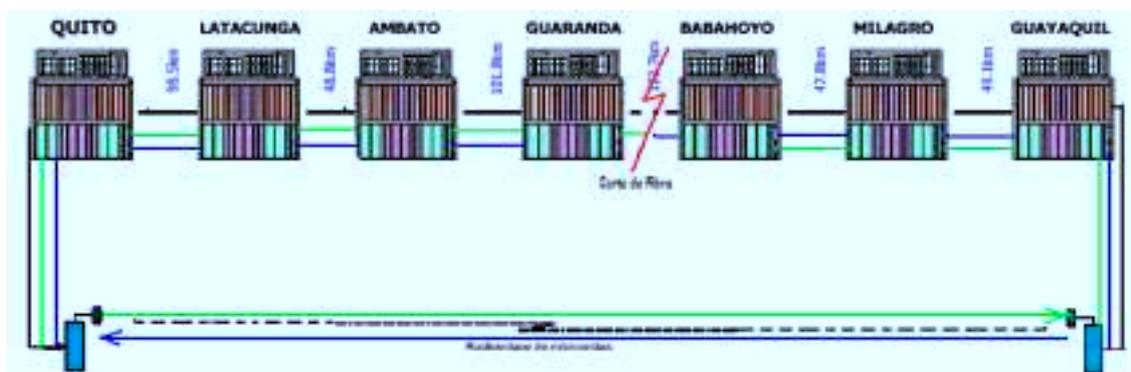


Figura 4.11. Respaldo vía Microonda Sistema Quito - Guayaquil

En la Figura 4.11. anterior se observa un ejemplo de este respaldo, la información es enviada por la red microonda ya que cuando sucede un corte en la fibra el enlace no funciona perdiéndose comunicación entre los extremos (Quito - Guayaquil) y demás centrales a los lados del corte, las líneas de color verde y azul indican como se comunican posterior al corte todas las estaciones. Este sistema de respaldo tiene limitaciones ya que si se presentan varios cortes el servicio se interrumpe. “<sup>12</sup>

## 4.6. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTA EXTERNA

### 4.6.1. CABLE DE FIBRA ÓPTICA

“ El cable de Fibra óptica utilizado es el de tipo Monomodo UIT-T G652

### 4.6.2. CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN.

#### - Atenuación.

<sup>12</sup> SIEMENS, Grupos de redes de Información, Descripción Técnica del TNMS CORE

La atenuación de las fibras ópticas se muestra en la Tabla 4.8.

<b>ATENUACION</b>	<b>@1310 nm</b>	<b>@1550 nm</b>
Atenuación Máxima garantizada	0.4 dB/Km	0.3 dB/Km
Atenuación Típica	0.38 dB/Km	0.2 dB/Km

**Tabla. 4.8. Atenuación de la Fibra Óptica**

#### **- Atenuación vs. Longitud de onda**

La atenuación en la región de longitud de onda de 1285 nm a 1330 nm no debe superar en más de 0.1 dB/Km a la atenuación especificada a 1310 nm. Para el rango de 1525 nm a 1575 nm, la atenuación no debe superar en más de 0.05 dB/Km a la atenuación especificada a 1550 nm.

#### **- Atenuación en la cresta de absorción del agua**

La atenuación de la fibra no debe exceder los 2 dB/Km a 1383 nm +/- 3 nm.

#### **- Uniformidad de la atenuación**

La atenuación de las fibras debe estar uniformemente distribuida a lo largo de toda su longitud, de forma tal que no existan discontinuidades de pérdida superior a 0.1 dB, a las longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm.

**- Dispersión Cromática**

Cumplirá las siguientes especificaciones:

- Longitud de onda de dispersión nula  $1310 \pm 10$  nm.
- Pendiente de dispersión @ 1310 nm  $\leq 0.095$  ps/nm<sup>2</sup>.Km.
- Valor de dispersión cromática
- @1285nm a 1330 nm  $\leq 3.2$  ps/nm.Km
- @1500nm  $\leq 17$  ps/nm.Km.

**- Longitud de onda de corte**

- Fibra con revestimiento primario 1190 nm a 1280 nm.
- Fibra cableada  $\leq 1250$  nm.

**- Diámetro Modal**

El valor del diámetro del campo modal, para diseños de revestimientos adaptados estará en la gama de:

- Diámetro modal @1300 nm entre  $9.3 \pm 0.5$   $\mu$ m
- Diámetro modal @1550 nm entre  $10.5 \pm 1$   $\mu$ m

#### **4.6.3. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:**

##### **- Diámetro del revestimiento**

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es de 125  $\mu\text{m}$ . La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de  $\pm 1 \mu\text{m}$ .

#### **4.6.4. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES**

##### **- Rango de Temperatura de Operación**

Las fibras deben poder operar dentro del rango de temperatura de  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $+85 \text{ }^\circ\text{C}$ , sin que resulten afectadas las características ópticas y mecánicas de las mismas.

#### **4.6.5. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CABLE**

El cable dispone de 48 fibras ópticas. Los cables deben ser totalmente dieléctricos, para ser instalados en conductos o subconductos. El conjunto de fibras con la protección secundaria se montan de tal forma que conforman el alma del cable.

Las fibras dentro de su protección secundaria holgada se disponen alrededor de un elemento central que soporta las tracciones sobre el cable, para constituir la unidad central óptica. Este núcleo óptico es totalmente dieléctrico,

por lo tanto el elemento central es dieléctrico y el núcleo no contiene pares de cobre.

#### **4.6.6. CANTIDAD DE FIBRAS POR TUBO**

Según la capacidad del cable en número de fibras se tiene en cuenta lo siguiente. Hasta 36 fibras ópticas, 6 fibras por tubo de protección secundaria.

Cables con más de 36 fibras ópticas, 12 fibras por tubo de protección secundaria. Con el propósito de brindar una protección mecánica externa al núcleo óptico y resistencia a los esfuerzos de torsión, se coloca alrededor de dicho núcleo dos coronas de hilados de aramidas, distribuidas en forma de capas trenzadas en direcciones opuestas. Este refuerzo proveerá a su vez, la resistencia de tracción requerida para mantener al mínimo la elongación del cable, debido a esfuerzos de instalación y expansión térmica.

La cantidad de trenzas de aramidas por capa y de filamentos por trenza, es tal que satisfagan holgadamente los requerimientos de elongación especificados.

Las características de las fibras de aramida que constituyen estos elementos es:

- Peso específico =  $1,44 \text{ g/cm}^3$
- Módulo de elasticidad  $\geq 100 \text{ kN/mm}^2$
- Carga de rotura  $\geq 2300 \text{ kN/mm}^2$ .

- Los hilados de aramida se impregnarán con un compuesto inundante.

Opcionalmente pueden utilizarse fibras aramidadas comunes conjuntamente con la colocación de cintas absorbentes, o fibras de aramida hinchables que eviten la penetración de agua y su propagación en el cable. “<sup>13</sup>

#### **4.6.7. CONECTORES.**

Los conectores de fibra óptica deben ser del tipo FC, para lo que en cada caso la pérdida máxima por conector es de 0.4 dB y la nominal de 0,2 dB. Todas las fibras de los cables de Fibra óptica deben ser conectorizadas.

Los conectores ópticos son dispositivos que sirven para conectar 2 fibras ópticas de forma estable pero no permanente. Los conectores se utilizan como una interfase entre el cable de exteriores y el equipo, o bien con un medio de seccionamiento o distribución donde se acceda a la fibra de forma rápida y eficiente.

#### **4.6.8. ODF (Optical Distribution Frame)**

“Son del tipo gabinetes con cerradura, par montaje en pared o en bastidor y con todos los accesorios necesarios, para alojar 48 fibras, que permita el acople mecánico apropiado de los conectores FC, de los pigtails que provienen

---

<sup>13</sup> SIEMENS- ANDINATEL, Ingeniería de planta externa, Contrato Abril 2002, Quito-Ecuador.

de planta externa y de los cordones ópticos que van hacia los equipos multiplexores.

Los repartidores ópticos más utilizados en este tipo de redes troncales son los paneles de conexión de fibra óptica, en ellos termina el cable de fibra óptica de exteriores y permite que el cable sea conectado al equipamiento mediante cordones de conexión de fibra óptica. El ODF suministra un punto de acceso tanto al cable de fibra como al equipo SDH.

Las fibras individuales pueden interconectarse, probarse o intercambiarse rápidamente entre el equipamiento óptico. Los paneles permiten un reconocimiento fácil de las fibras y proporciona un punto de demarcación del enlace. Consta de dos compartimientos: uno contiene los receptáculos de cabecera o adaptadores y el otro las bandejas de empalmes y el almacenamiento de exceso de fibra.

Las especificaciones técnicas de los repartidores de fibra óptica para este tipo de red troncal, son en cada estación para el cable de entrada cable y de salida del tipo gabinete con cerradura, para montaje en pared o en bastidor y con todos los accesorios necesarios, para alojar la cantidad de fibras del cable empleado, que permita el acople mecánico apropiado de los conectores FC, de

los pigtails que provienen de planta externa y de los jumpers que van hacia los DDF.

Además deben dar facilidad para la conexión de equipos de prueba y medida tales como reflectómetros, atenuadores, medidores de potencia óptica, etc. “<sup>14</sup>

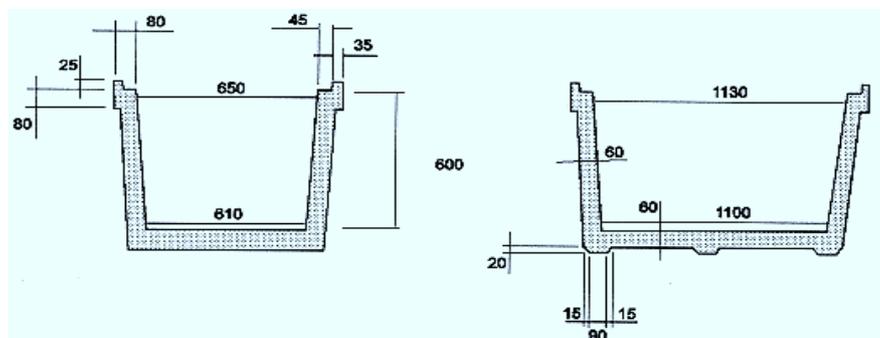
#### **4.6.9. CÁMARAS DE HORMIGÓN ARMADO PREMOLDEADO**

“Las cámaras esn de hormigón armado premoldeado, abiertas en su cara superior, fabricadas mediante moldes levemente tronco-piramidales, con un peso del orden de los 600 Kg.

Pueden trasladarse e instalarse mediante camiones con hidrogrúa enganchándose en los ganchos destinados para tal fin. Las dimensiones generales de las cámaras tipo D2P son: Ancho 65 cm; Largo 113 cm- Altura Libre 60 cm; el espesor del fondo y las paredes es de 6 cm. En el perímetro superior las paredes tienen un nervio rigidizador de 8x8 cm, y un borde de 3,5 cm de ancho por 2,5 cm de alto. En el sentido transversal se colocarán rigidizadores exteriores que circunvalen la cámara en sus dos extremos y en el centro, los que sobresaldrán 2 cm y tienen 10 cm de ancho promedio. (Figura4.12.)

---

<sup>14</sup> SIEMENS, Descripción de Proyecto sobre Equipos de transmisión para la construcción de la RTFO de ANDINATEL, Quito- Ecuador, Marzo 2001.

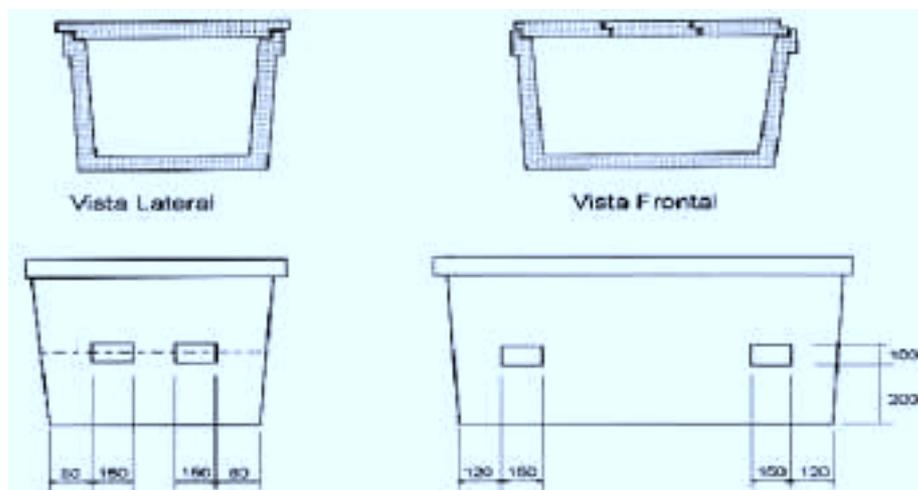


**Figura 4.12. Cortes de las Cámaras de Hormigón Premoldeadas**

En el fondo de la cámara del lado interior se colocan 4 ganchos metálicos rebatibles, cerca de los ángulos, estos ganchos deben ser resistentes a la corrosión y estar sujetos a la armadura de la cámara, se utilizarán para el transporte de las cámaras.

Las cámaras deben tener huecos para el pasaje de cables y para drenajes.

Las armaduras esn soldadas como mallas y su posición se asegura mediante el empleo de separadores para controlar el recubrimiento mínimo de 1 cm y fijar la separación entre las dos mallas.(Figura 4.13.)



**Figura 4.13. Vistas de las Cámaras de Hormigón Premoldeadas**

Cada cámara vendrá equipada con una cubierta de polietileno de baja densidad de 100 micrones de espesor y de 1,70 x 1,20 metros. Las tapas serán losetas de 5 cm de espesor y están simplemente apoyadas en las paredes longitudinales, son 3 módulos para las cámaras. Cada tapa llevará dos manijas, que su material deben ser resistente a la corrosión a fin de no degradarse luego de dos años de estar enterradas, una vez colocadas no deben sobresalir de las tapas para lo cual pueden bajarse o bien rebatirse”<sup>15</sup>

#### **4.6.10. EJECUCIÓN DE EMPALMES.**

<sup>15</sup> SIEMENS- ANDINATEL, Ingeniería de planta externa, Contrato Abril 2002, Quito-Ecuador.

#### **4.6.10.1. BANDEJA DE EMPALMES**

“ Las Bandejas de Empalmes se usan para proteger y mantener los empalmes individuales tanto mecánicos como de fusión. Hay varios tipos de bandejas de empalmes según el tipo de empalme.

Las bandejas de empalme pueden ser sensibles a la longitud de onda óptica debido al radio de curvatura que se coloca la fibra dentro de ella, por lo que se debe especificar la longitud de onda óptica de operación para evitar atenuación del cable. Las bandejas de empalme normalmente dan cabida hasta 12 empalmes y aun se utilizan varias bandejas para empalmar un cable de muchas fibras. Todas las fibras de la bandeja terminan en el tubo o buffer de protección del cable.

Se los conoce también como cassettes de empalmes que cumplen la función de acumular una reserva de 1 a 2 metros de fibra, para que se pueda llegar a la máquina empalmadora, o de reserva para realizar un nuevo empalme si el anterior no cumple los requerimientos de pérdidas, o para operaciones de mantenimiento.

Estas bandejas deben ser aptas para contener las fibras con radios de curvatura sin afectar la fibra, respecto de la fatiga estática como del aumento de atenuación.

#### **4.6.10.2. EMPALME DE FIBRA ÓPTICA POR FUSIÓN**

Se utiliza empalmes por fusión ya que proporcionan menor atenuación para enlaces de muchos kilómetros de longitud. Para realizar este tipo de empalmes se utiliza un dispositivo denominado empalmadora de fusión.

El empalme por fusión consiste en calentar hasta el punto de fusión los extremos de las fibras que se deben empalmar, mediante una descarga de arco voltaico, ejerciendo una adecuada presión axial entre las dos fibras hasta obtener la soldadura de las mismas. La temperatura necesaria depende del material de la fibra. En la actualidad se utilizan fibras con alto contenido de sílice, por lo que se necesitan temperaturas alrededor de 2000°C. Una buena empalmadora de fusión proporciona empalmes con pérdidas menores a 0.1 dB para fibras monomodo.

#### **4.6.11. IDENTIFICACIÓN DE LAS FIBRAS ÓPTICAS**

Las fibras ópticas están identificadas por un código de colores según el fabricante siendo la más aceptada la norma EIA/TIA 598, esta se utiliza para ordenar la secuencia de las fibras en los empalmes como en los distribuidores.

(Tabla 4.9. y 4.10.)”<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> SIEMENS- ANDINATEL, Ingeniería de planta externa, Contrato Abril 2002, Quito-Ecuador.

Posición	Color de la Fibra
1	Azul
2	Naranja
3	Verde
4	Marrón
5	Gris
6	Blanco
7	Rojo
8	Negro
9	Amarillo
10	Violeta
11	Rosa
12	Turquesa

**Tabla 4.9. Secuencia según el código de colores para Fibra Óptica**

Número de la Fibra	Color de Tubo (Buffer)	Color de la Fibra
1	Azul	Azul
2	Azul	Naranja
3	Azul	Verde
4	Azul	Marrón
5	Azul	Gris
6	Azul	Blanco
7	Azul	Rojo
8	Azul	Negro
9	Azul	Amarillo
10	Azul	Violeta
11	Azul	Rosa
12	Azul	Turquesa
13	Naranja	Azul
14	Naranja	Naranja
15	Naranja	Verde
16	Naranja	Marrón
17	Naranja	Gris
18	Naranja	Blanco
19	Naranja	Rojo
20	Naranja	Negro
21	Naranja	Amarillo
22	Naranja	Violeta
23	Naranja	Rosa
24	Naranja	Turquesa
25	Verde	Azul

**Tabla 4.10. Número De Fibra Según el Estándar EIA/TIA 598**

## **4.7. AMPLIACIÓN DE LA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA DEL ECUADOR**

### **4.7.1. ANTECEDENTE**

El sistema SDH STM-16 ó 2.5 Gbps (1008 e1 ó 30240 circuitos simultáneos) empleado en esta Red Troncal, posee un sistema de protección 1+1 MSP, utilizando 4 fibras ópticas. Esta red es capaz de realizar interconexiones disponibles en Quito, Guayaquil y Tulcán para vincularse con otros sistemas que brinden respaldo. El sistema de gestión con funciones para red y subred, protegido mediante un canal vía radio.

Se considera que para realizar una ampliación de una red, se compara esta con las diferentes redes de la Operadora, de esta manera se compara la calidad de la red por fibra (señal pura) que es mejor que la señal de microonda (susceptible al ruido por interferencias) y además se analizan :

### **4.7.2. DISPONIBILIDAD:**

-En la configuración lineal empleada en esta Red se presentan 3 cortes al mes con afectación de tráfico

- En una configuración anillada: los cortes de fibra no afectan el tráfico (99,999% de disponibilidad)

#### **4.7.3. CAPACIDAD:**

La Fibra óptica presenta 1008 E1 que puede ser ampliable mientras que por microonda presentan 138 E1 que tienen una amplitud limitada

#### **4.7.4. LAS VENTAJAS DE LA RED DE FIBRA :**

- Comercialización de los servicios actuales con mayor ancho de banda
- Comercialización de nuevos servicios con el consecuente aumento de los ingresos de la compañía
- Disminución de los costos para larga distancia nacional e internacional
- La red permite vender capacidad a otras compañías
- Imagen de la empresa con mejor posicionamiento frente a la competencia
- Servicios principales a través de la red como son: telefonía básica, red de transporte para telefonía celular, datos, Internet, redes corporativas.
- Servicios de banda ancha (archivos, educación a distancia, universidades, paquetes de información, video)
- Establecer configuraciones de anillo para la protección de la red troncal de fibra óptica (disponibilidad 99,999% estándar internacional)
- Desarrollan estudios de negocios para que nuevas inversiones en proyectos de fibra óptica sean sustentables

- Los proyectos deben ejecutarse en etapas y se planifican inclusive entre Operadoras o empresas privadas para compartir costos de infraestructura.

En el país la Red Troncal de Fibra Óptica del Ecuador esta constituida de la siguiente manera:

Sistema Quito – Guayaquil, conformado por los siguientes enlaces:

Enlace: Quito – Latacunga.

Enlace: Latacunga – Ambato.

Enlace: Ambato – Guaranda.

Enlace: Guaranda – Babahoyo.

Enlace: Babahoyo – Milagro.

Enlace: Milagro Guayaquil.

Sistema Ambato – Cuenca, conformado por los siguientes enlaces:

Enlace: Ambato - Riobamba.

Enlace: Riobamba – Alausí.

Enlace: Alausí – Azogues.

Enlace: Azogues – Cuenca.

Sistema Quito – Tulcán, conformado por los siguientes enlaces:

Enlace : Quito – El Quinche.

Enlace: El Quinche – Cayambe.

Enlace: Cayambe – Otavalo

Enlace: Otavalo – Ibarra.

Enlace: Ibarra – El Ángel.

Enlace : El Ángel – Tulcán.

#### **4.7.5. CRECIMIENTO**

Esta Red tiene posibilidades de crecimiento utilizando los recursos de la misma como son:

Las fibras ópticas vacantes sin utilizar.

Los ductos vacantes del triducto utilizado.

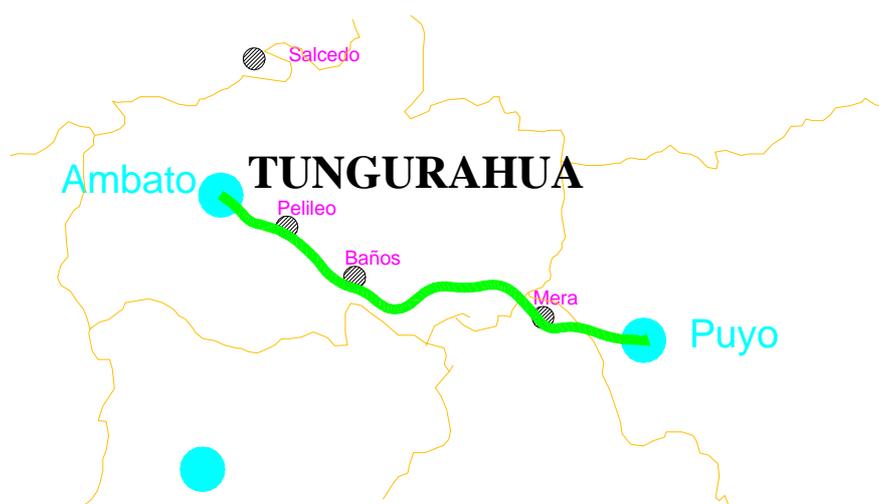
Posibles derivaciones en cualquier punto de la red de transmisión.

#### **4.7.6. AMPLIACIÓN**

La ampliación de una red troncal consiste en obtener toda su disponibilidad configurando la red en anillo, para lo cual se tiene proyectos para cerrar esta red. (Figura 4.15.)

Estas rutas permiten tener redundancia de información y mantener en servicio la red por fibra ya que las protecciones por microonda no tienen la misma capacidad de transmisión de datos.

En nuestro estudio debemos considerar a la Provincia de Pastaza lo cual en la Figura 4.14. observamos que sale desde el nodo de Ambato y pasa por las ciudades de Pelileo, Baños y Mera , hasta llegar al Puyo; y tendríamos todo el diseño de la Zona Central del País para nuestro diseño.



**Figura 4.14. Enlace Ambato – Puyo.**

Realizando estos anillos faltantes se tiene acceso a Fibras Ópticas de los países vecinos y se puede conectar al Ecuador a nivel Andino y a su vez por estos países a Cables de Fibra óptica Submarinos a niveles Internacionales.

El sistema de Transmisión se puede ampliar utilizando:

- La ampliación a STM -64 (4032 e1 ó 120960 circuitos simultáneos)
- Modulación DWDM con 16 diferentes longitudes de ondas en STM 16 ó 64 (483840 ó 1935360 circuitos respectivamente)

El sistema de gestión se puede ampliar a mayores prestaciones a través de actualizaciones de software, o aumentando la capacidad de reconocimiento de elementos de red, ya que el sistema TNMS utilizado en esta red tiene una capacidad de reconocer hasta 250 elementos de red.

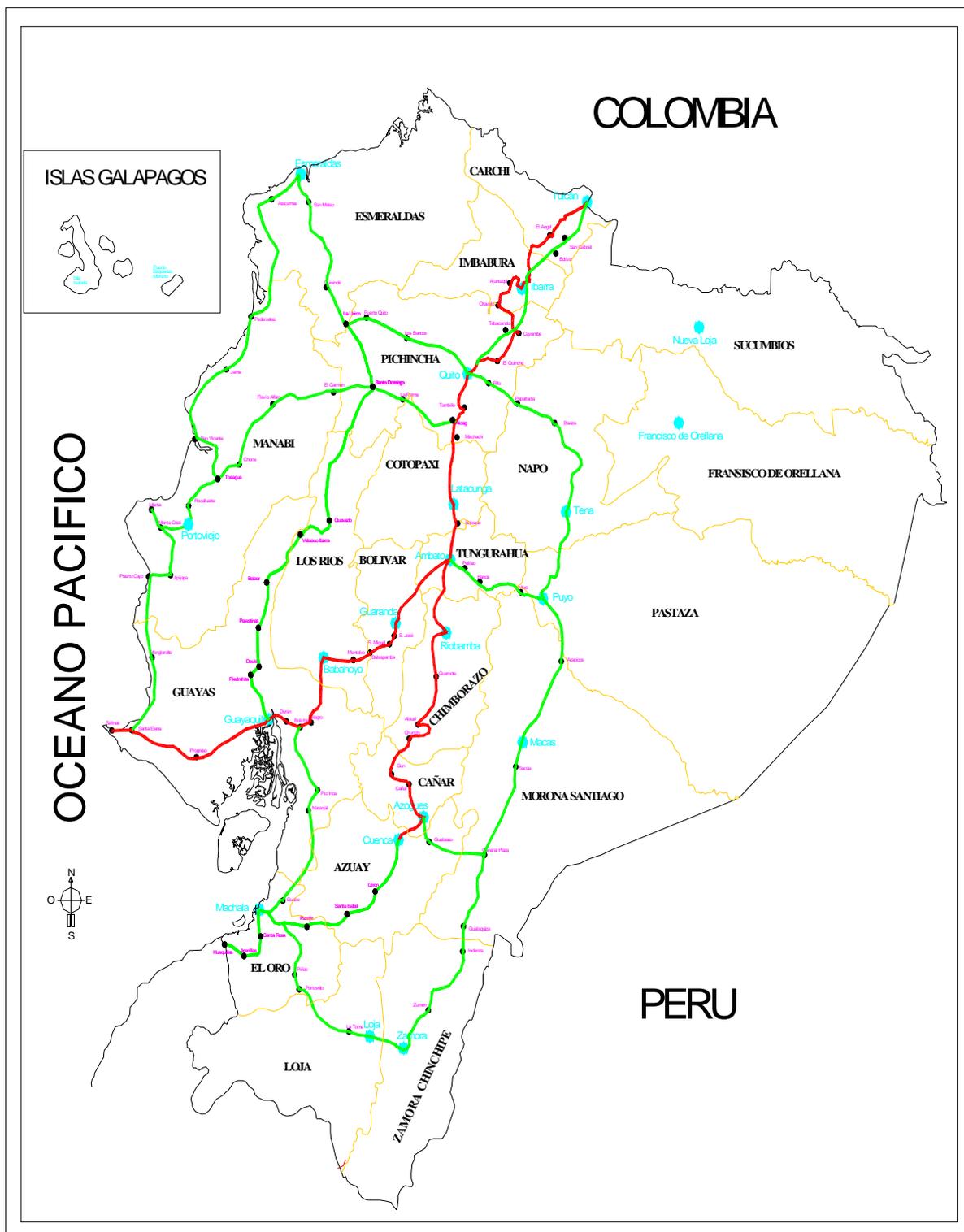


Figura 4.15. Futuras Ampliaciones para cierre de anillos de Fibra Óptica en el Ecuador.

## **CAPITULO VI:**

### **PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO DWDM.**

#### **6.1. INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se realizará una metodología de diseño de una red de acceso DWDM ( Multiplexación Densa por Longitud de Onda), en los anillos de fibra óptica instalada en la Zona Central del Ecuador con tecnología SDH.

La creciente demanda de tráfico así como la necesidad de hacer más flexibles las redes de comunicaciones, impulsa a buscar nuevas tecnologías que cumplan con éstos requerimientos, es por eso que la necesidad de implementar DWDM a los anillos ópticos de la Zona Central del País; se ve como una solución que cumple con estos requerimientos de incremento de capacidad para servicios de alta velocidad, a su vez está tecnología es adaptable a una red de fibra óptica que soporta SDH.

Para el diseño se tomará como base la red de transporte SDH que ANDINATEL S. A., ha implementado actualmente en la Zona Central del País.

#### **6.2. ESTUDIO DE MERCADO.**

Para iniciar el proceso de diseño de una red de acceso, se justificará la necesidad de aplicarla, puesto que la implementación de técnicas de acceso mediante fibra óptica es un asunto que requiere una gran inversión, un alto despliegue de tecnología y recursos humanos, su desarrollo debe estar debidamente respaldado por una demanda actual de los servicios considerable y una proyección de demanda a futuro creciente.

Existe, una gran necesidad o requerimiento de los servicios de telecomunicaciones en el país, como lo indican las estadísticas recientes que se han efectuado por SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones del Ecuador) y CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones).

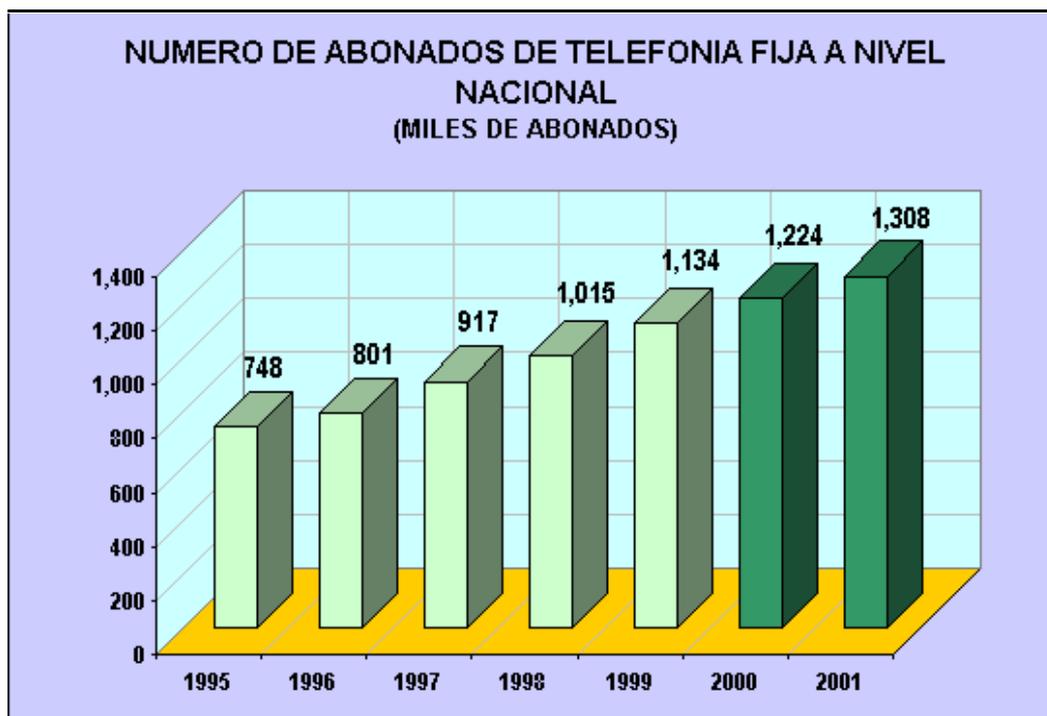


Figura 6.1. Abonados de telefonía fija en el País.

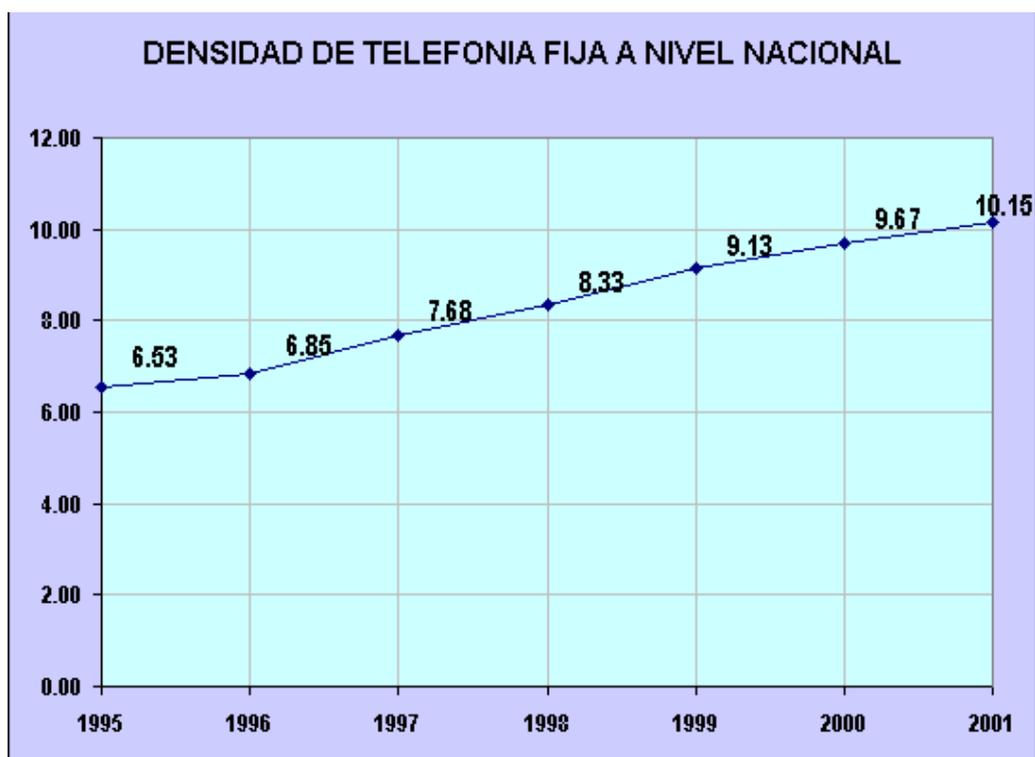


Figura 6.2. Densidad de Telefonía Fija a Nivel Nacional.

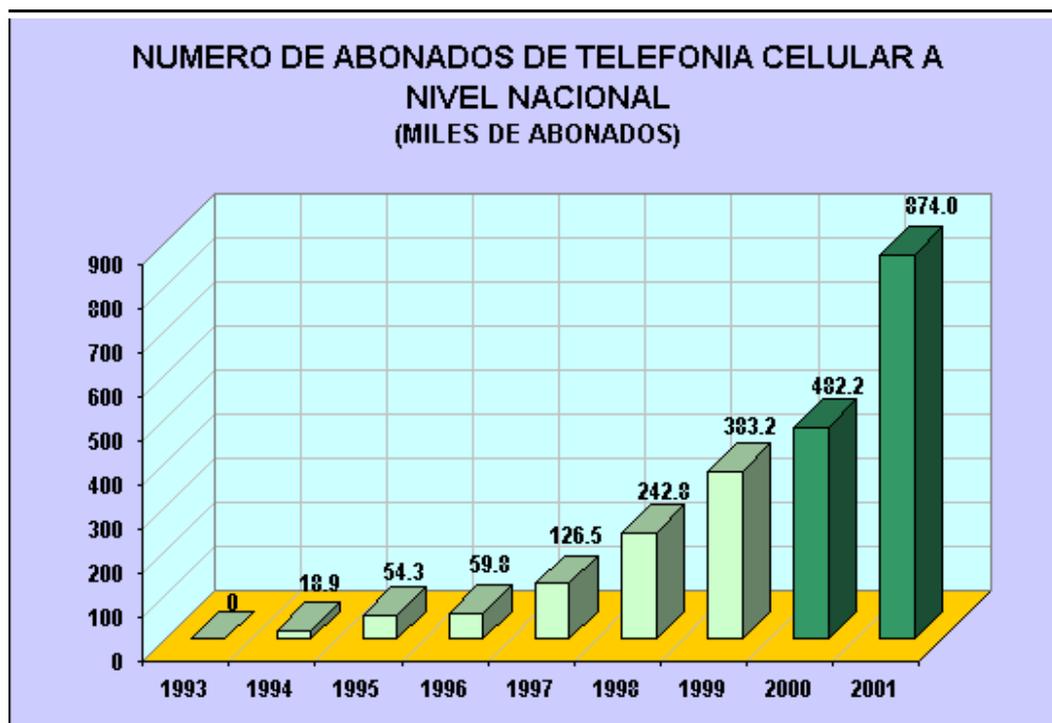


Figura 6.3. Abonados de telefonía móvil en el País.

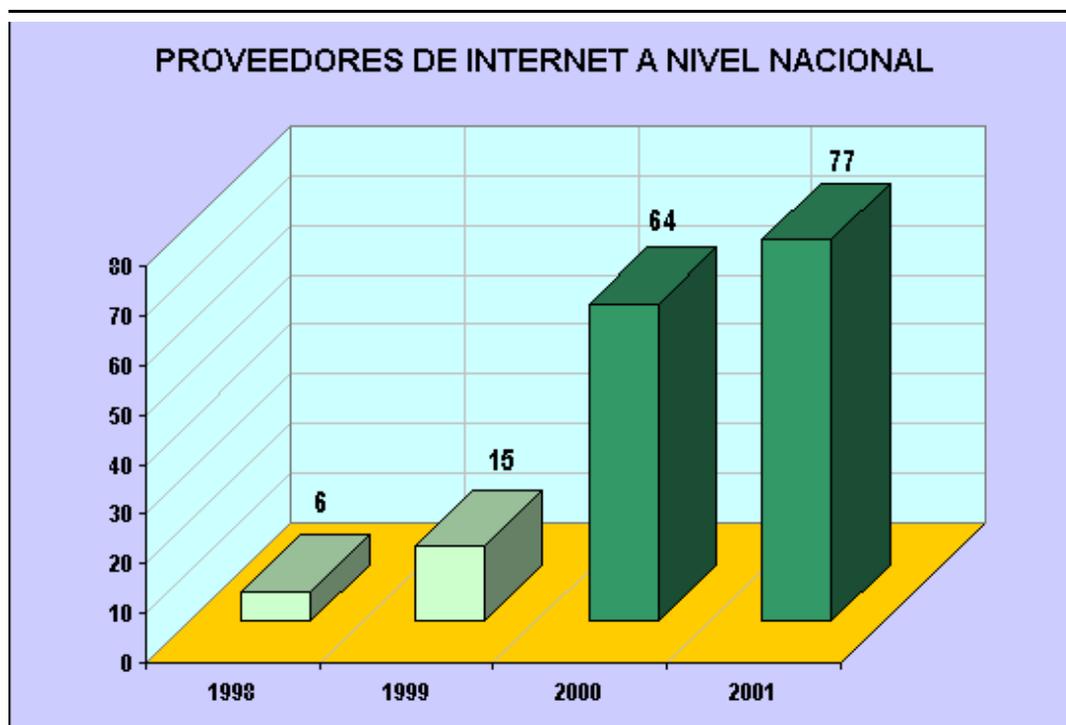
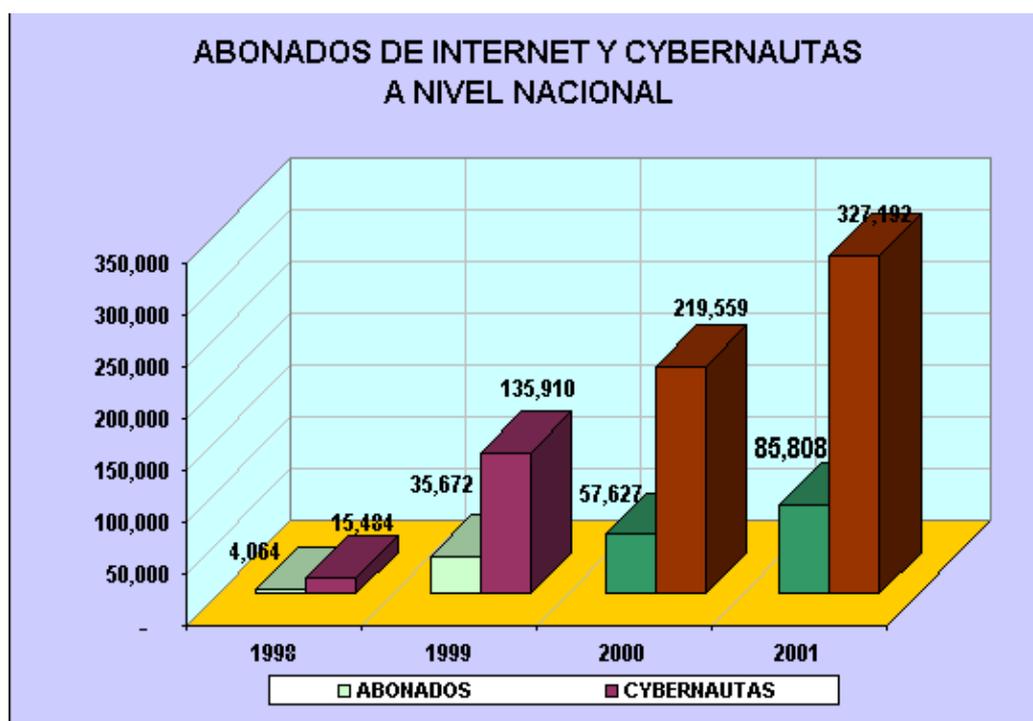


Figura 6.4. Proveedores de Internet en el País.



**Figura 6.5. Abonados de Internet y Cybernautas en el País.**

El sector de las telecomunicaciones es atendido por varias empresas públicas de telefonía: Andinatel y Pacifictel, operadoras que suministran servicios de telefonía fija local y de larga distancia nacional e internacional al 93% de los abonados; y Etapa (Cuenca), empresa municipal que cubre el 7% restante.

En telefonía celular operan en el país dos empresas que proporcionan este servicio: Celular Power y Porta Celular; la primera, con participación y apoyo técnico de la empresa Bell South, y la segunda con la participación y apoyo de Nortel Telecom.

Ambas empresas ofrecen el servicio con cobertura para las principales ciudades del país; en los dos casos las llamadas de larga distancia nacional a ciudades no atendidas por el sistema se canalizan a través de la telefonía fija de Andinatel o Pacifictel, al igual que las llamadas de larga distancia internacional.

Con estas empresas se ha realizado el estudio de mercado; mediante los cuadros estadísticos que obtuvimos de telefonía fija, móvil y abonados de Internet; que indican el enorme incremento en el sector de las Telecomunicaciones en el País, ejemplo de esto es el número de abonados en telefonía fija que ha crecido desde un número de 748.000 abonados en 1995 de acuerdo a la figura 6.1. hasta alcanzar 1'380.000 abonados; pero en la actualidad hay 1'585.938 abonados, de la última estadística realizada por la SUPERTEL en el mes de Julio del 2004.

Es decir que en apenas 9 años se ha duplicado en la cantidad de suscriptores de este servicio, existiendo un incremento igualmente significativo en la densidad de abonados como indica la Figura 6.2.

El incremento de proveedores de Internet es más notorio, que de 6 existentes en 1998 han pasado a un total de 77 en el 2001. En el caso de los abonados de Internet y cibernautas el crecimiento tiene similares índices.

La explosión de la multimedia y su efecto en los índices de tráfico demandan un incremento en la capacidad de la red, la perspectiva de la red de banda ancha futura exige a su vez, que la estructura prevista sea flexible y soporte la introducción de nuevas ampliaciones y con diferentes formatos.

Si se considera que se encuentra en auge tener más ancho de banda, más aplicaciones, servicios y una rapidez de acceso en Internet; la introducción de fibra óptica en la red de acceso para la Zona Central del Ecuador se encuentra justificada y la utilización de DWDM se muestra como una necesidad para llegar a optimizar el uso de la fibra ya instalada y llegar con mayor calidad de servicio al usuario final de la red a más de ampliar la capacidad de transmisión del sistema.

### **6.3. ANÁLISIS DE TRAFICO.**

El análisis de tráfico que se presenta en esta parte incluye una proyección de diez años; siendo este tiempo considerado como vida útil de los equipos, suponiendo que la red no sufrirá cambio mayores durante este lapso y que por lo tanto deberá satisfacer la demanda para el período establecido.

En primer lugar se hace un estudio poblacional de la Zona Central del País, se proyecta el número de habitantes para los diez años posteriores; y con el uso de la densidad telefónica, de la que se realiza una proyección, se determina el tráfico telefónico. Finalmente se incluye un incremento debido al tráfico generado por el uso de Internet y servicios multimedia que podrían implementarse a futuro; con esto, y mediante una previsión de la matriz de tráfico futura en pasos de 5 años, se obtienen los parámetros suficientes para el dimensionamiento de la red de acceso propuesta.

### **6.4. ESTUDIO POBLACIONAL.**

El estudio poblacional a realizarse en esta sección contempla una proyección del incremento de habitantes en las Provincias de la Zona Central; se lo ha realizado en base a los datos obtenidos del VI Censo Poblacional por el INEC en el 2001.

Para determinar la proyección de pobladores a los años de interés, se ha recurrido la información total de la Zona Central del país; y bajo la suposición de que el incremento es uniforme de acuerdo a una tendencia lineal, determinada mediante un análisis de los datos históricos.

En la tabla 6.1 y la figura 6.6 contiene la proyección de habitantes de la Zona Central del Ecuador está basada en las proyecciones del INEC desde 1994 hasta el 2004.

AÑO	PROVINCIAS				
	BOLIVAR	CHIMBORAZO	COTOPAXI	PASTAZA	TUNGURAHUA
1994	165985	382456	310254	49512	396159
1995	167021	390125	316585	51212	403451
1996	168251	398125	322154	52912	411524
1997	169210	401521	328546	54612	417102
1998	170253	405546	334217	56125	424152
1999	171789	410215	340125	58012	431452
2000	172142	411245	346124	59745	436584
2001	173370	416632	352354	61452	441034
2002	175123	420589	358452	63123	451258
2003	178564	425874	364521	64574	461758
2004	179.616	428.052	370.687	65516	467718

Tabla 6.1. Proyección de la Población de la Zona Central del Ecuador años 1994 –2004, realizada por el INEC.

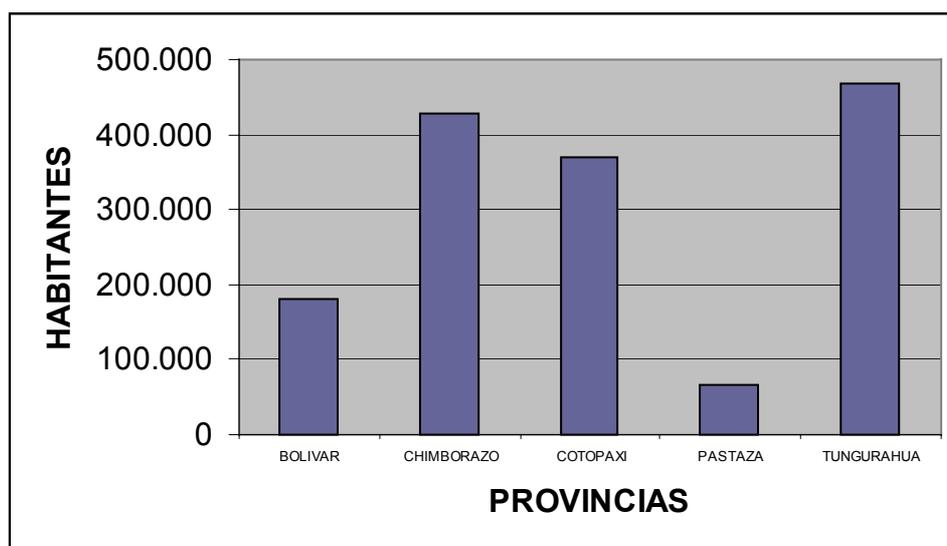


Figura 6.6. Población en la Zona Central del Ecuador en el año 2004.

Se toman como base para la proyección, los datos de la tabla 6.1, al graficar los resultados muestra que el incremento de habitantes lleva una tendencia aproximadamente lineal; por lo que se ha escogido el método de los mínimos cuadrados para realizar una regresión con los datos disponibles y encontrar la ecuación de la recta que describe la variación de los resultados para efectuar una extrapolación con el menor error posible.

La regresión lineal considera la siguiente ecuación de la forma:

$$y = ax + b.$$

Ecuación 6.1

Donde :

x: variación de años, en pasos de uno.

y: variación de la población.

Los valores de a y b se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$a = \frac{n \sum_{i=0}^n xy - \sum_{i=0}^n x \sum_{i=0}^n y}{n \sum_{i=0}^n x^2 - \left( \sum_{i=0}^n x \right)^2} .$$

Ecuación 6.2

$$b = \frac{\sum_{i=0}^n y \sum_{i=0}^n x^2 - \sum_{i=0}^n x \sum_{i=0}^n xy}{n \sum_{i=0}^n x^2 - \left( \sum_{i=0}^n x \right)^2} .$$

Ecuación 6.3

Donde:

n: Representa el número de datos considerados.

Con esto se obtiene:

PROVINCIA	VARIABLES		ECUACIÓN
	a	b	y = ax +b
<b>BOLIVAR</b>	1319,563636	-2465869,164	Y = 1319,563636x - 2465869,164
<b>CHIMBORAZO</b>	4311,718182	-8210908,282	Y = 4311,718182x - 8210908,282
<b>COTOPAXI</b>	6021,145455	-11695904,4	Y = 6021,145455x - 11695904,4
<b>PASTAZA</b>	1649,1	-3238660,445	Y = 1649,1x - 3238660,445
<b>TUNGURAHUA</b>	7004,736364	-13571359,63	Y = 7004,736364x - -13571359,63

**Tabla 6.2. Obtención de las variables “ a “ y ”b” y su ecuación aplicando los Mínimos Cuadrados .**

Mediante el uso de las ecuaciones de la tabla 6.2. se realiza la proyección para los años entre el 2005 y el 2015, los que se detallan en la tabla 6.3.

AÑO	PROVINCIAS				
	BOLIVAR	CHIMBORAZO	COTOPAXI	PASTAZA	TUNGURAHUA
2005	179856	434087	376492	67785	473137
2006	181175	438398	382513	69434	480142
2007	182495	442710	388535	71083	487146
2008	183815	447022	394556	72732	494151
2009	185134	451334	400577	74381	501156
2010	186454	455645	406598	76031	508160
2011	187773	459957	412619	77680	515165
2012	189093	464269	418640	79329	522170
2013	190412	468580	424661	80978	529175
2014	191732	472892	430683	82627	536179
2015	193052	477204	436704	84276	543184

Tabla 6.3. Proyección de la Población de la Zona Central del Ecuador años 2005-2015, calculada por el método de los mínimos cuadrados.

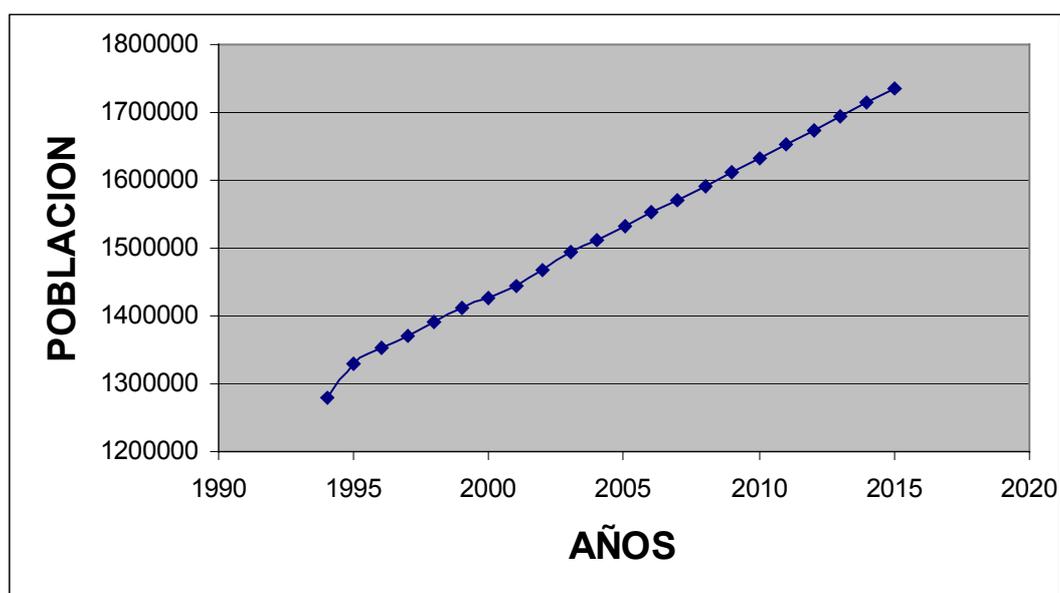


Figura 6.7. Curva de Crecimiento Poblacional en la Zona Central del Ecuador.

En la Figura 6.7 podemos observar un crecimiento de la población en la zona Central del Ecuador, al año 2015. El error producido por la aplicación del método de los mínimos cuadrados se lo calcula al comparar la proyección efectuada por el INEC y la obtenida por el método de proyección para los años 2005 – 2015, el resultado obtenido referente al error promedio es de 0,278 %, nivel aceptable para tomar los datos calculados como reales. El cálculo correspondiente se detalla en la tabla 6.4.

<b>PROVINCIAS</b>															
	<b>BOLIVAR</b>			<b>CHIMBORAZO</b>			<b>COTOPAXI</b>			<b>PASTAZA</b>			<b>TUNGURAHUA</b>		
<b>AÑOS</b>	<b>PROY. INEC</b>	<b>PROY. CALC.</b>	<b>ERROR %</b>	<b>PROY. INEC</b>	<b>PROY. CALC.</b>	<b>ERROR %</b>	<b>PROY. INEC</b>	<b>PROY. CALC.</b>	<b>ERROR %</b>	<b>PROY. INEC</b>	<b>PROY. CALC.</b>	<b>ERROR %</b>	<b>PROY. INEC</b>	<b>PROY. CALC.</b>	<b>ERROR %</b>
<b>1994</b>	165985	165341	0,388	382456	386658	1,099	310254	310260	0,002	49512	49645	0,269	396159	396085	0,019
<b>1995</b>	167021	166660	0,216	390125	390969	0,216	316585	316281	0,096	51212	51294	0,160	403451	403089	0,090
<b>1996</b>	168251	167980	0,161	398125	395281	0,714	322154	322302	0,046	52912	52943	0,059	411524	410094	0,347
<b>1997</b>	169210	169299	0,053	401521	399593	0,480	328546	328323	0,068	54612	54592	0,036	417102	417099	0,001
<b>1998</b>	170253	170619	0,215	405546	403905	0,405	334217	334344	0,038	56125	56241	0,207	424152	424104	0,011
<b>1999</b>	171789	171939	0,087	410215	408216	0,487	340125	340365	0,071	58012	57890	0,210	431452	431108	0,080
<b>2000</b>	172142	173258	0,648	411245	412528	0,312	346124	346387	0,076	59745	59540	0,344	436584	438113	0,350
<b>2001</b>	173370	174578	0,697	416632	416840	0,050	352354	352408	0,015	61452	61189	0,429	441034	445118	0,926
<b>2002</b>	175123	175897	0,442	420589	421152	0,134	358452	358429	0,006	63123	62838	0,452	451258	452123	0,192
<b>2003</b>	178564	177217	0,754	425874	425463	0,096	364521	364450	0,019	64574	64487	0,135	461758	459127	0,570
<b>2004</b>	179.616	178536	0,601	428.052	429775	0,403	370.687	370471	0,058	65516	66136	0,946	467718	466132	0,339
		<b>PROM.</b>	0.388		<b>PROM.</b>	0.400		<b>PROM.</b>	0.045		<b>PROM.</b>	0,295		<b>PROM.</b>	0,266

Tabla 6.4. Error en la Proyección de la Población.

## 6.5. PROYECCIÓN DE LA DENSIDAD TELEFÓNICA

Para proyectar la densidad telefónica en cada provincia de la Zona Central del Ecuador, es necesario establecer parámetros de partida basados en datos anteriores, en las cuales se usarán en un método de predicción, el que finalmente establecerá una aproximación de la densidad telefónica en los años subsiguientes a los tomados como referencia.

En este caso se tomarán los datos de la densidad telefónica desde 2000 hasta el 2004, respectivamente, esta información no se lo ha obtenido directamente sino que se ha calculado relacionando el número de abonados totales de la ciudad con la población de cada provincia de la Zona Central del Ecuador.

PROVINCIA	DENSIDAD TELEFONICA POR AÑOS				
	2000	2001	2002	2003	2004
<b>BOLIVAR</b>	2.25	2.85	3.14	4.01	5.25
<b>CHIMBORAZO</b>	4.52	5.48	6.96	7.45	8.58
<b>COTOPAXI</b>	4.14	4.62	5.75	6.45	7.35
<b>PASTAZA</b>	6.45	6.98	7.51	8.14	9.56
<b>TUNGURAHUA</b>	7.54	8.45	9.14	10.14	11.55

Tabla 6.5. Densidad Telefónica de la Zona Central del Ecuador.

Existen varios métodos por medio de los cuales se efectuará la proyección a futuro la densidad telefónica, dentro del presente estudio se considerarán dos posibles opciones de las cuales se optará por una, misma que será aplicada para el cálculo de la densidad de abonados telefónicos en la Zona Central del Ecuador.

Los métodos que se analizarán son el método de "Gompertz" y el método de la "Curva logística de Crecimiento".

### 6.5.1. METODO DE GOMPERTZ

La proyección de la densidad telefónica en este proceso se basa en la determinación de una ecuación de crecimiento, mediante la aplicación de datos históricos a un modelo previamente establecido, el cual se representa por la siguiente ecuación:

$$D = \ell^{(a-br^t)}$$

Ecuación 6.4

Donde:

- D : Densidad telefónica al año t.
- t : Tiempo en años a partir del año de origen
- a, b, r : Constantes que dependen de datos anteriores o históricos.

Se considera un valor límite al año cuando  $t \rightarrow \infty$ , igual a un valor de densidad máximo, el cual determinará una asíntota para la ecuación de densidad con el uso de este límite se determina la constante "a". Las constantes "b" y "r", se establecen con la utilización de los valores de los años anteriores.

### 6.5.2. METODO DE LA CURVA LOGÍSTICA DE CRECIMIENTO.

Este método está basado al igual que el método de Gompertz, un modelo preestablecido del cual hay que calcular las constantes que lo componen mediante el uso de los datos anteriores conocidos.

El modelo es aplicable a sistemas telefónicos y es recomendado por la UIT.

El referido modelo se basa en la siguientes expresión:

$$\delta T(t) = FT + \frac{(MT - FT)}{1 + a\ell^{b(t-t_0)}} . \quad \text{Ecuación 6.5}$$

Donde:

- $\delta T(t)$  = Densidad telefónica al año t
- FT = Cota mínima en la etapa primaria.
- MT = Cota máxima de la Curva.
- $t_0$  = Tiempo inicial del período de la previsión.
- a = Coeficiente a evaluarse
- b = Coeficiente a evaluarse

El cálculo de los coeficientes "a" y "b" se realiza a partir de la aplicación de los datos históricos detallados anteriormente en el modelo matemático, mientras que la cota FT establece, el punto inicial desde el que se calcula la proyección.

Los dos modelos planteados, dan como resultado una curva de crecimiento que corresponde a una curva exponencial atenuada, es decir, presenta un crecimiento acelerado en los primeros años para luego evidenciar un crecimiento menos sostenido hasta finalmente llegar a un valor máximo tomando como asíntota.

Las características tanto del un caso como del otro son bastantes parecidas, en este trabajo se ha decidido la utilización del modelo de la "Curva logística de crecimiento" debido principalmente a que es un sistema realizado precisamente

para sistemas telefónicos, contempla tanto un límite superior como inferior y es el modelo recomendado por la UIT para este tipo de aplicaciones.

### 6.5.3. CALCULO DE LA DENSIDAD TELEFÓNICA PROYECTADA.

La evaluación de las cotas mínima y máxima de la curva se hace teniendo en cuenta que en el punto inicial FT debe ser igual a cero y que la evaluación en el tiempo cuando  $t \rightarrow \infty$  debe tener una asíntota en 45; es decir el grado máximo de introducción del servicio será del 45%; con lo que se tiene:

$$\delta T(t \rightarrow \infty) = 45 = 0 + \frac{(MT - 0)}{1 + a\ell^{b(t-t_0)}}$$

$$45 = \frac{(MT - 0)}{1 + 0}$$

$$MT = 45$$

Con los datos de densidad de los años 2003 y 2004 de la provincia de Bolívar, como ejemplo se obtendrán los valores de coeficientes "a" y "b"; así:

Se tomará como año inicial de la previsión el año 2003, con lo que se obtiene:

$$\delta T(2003) = 4.03 = \frac{45}{1 + a\ell^{b(2003-2003)}}$$

$$4.03 = \frac{45}{1 + a}$$

$$a = 10,2219451$$

Ahora, incluyendo el dato de densidad para el año 2004, se tiene:

$$\delta T(2004) = 5.25 = \frac{45}{1 + 10.22\ell^{b(2004-2003)}}$$

$$5.25 = \frac{45}{1 + 10.22\ell^b}$$

$$b = -0,30015513$$

Entonces la ecuación tomará la forma:

$$\delta T(t) = \frac{45}{1 + 10.22e^{-0.3001551(t-t_0)}} . \quad \text{Ecuación 6.6}$$

En el cuadro 6.6. indicaremos las variables “a” y “b” obtenidas de cada provincia de la Zona Central del Ecuador aplicando el método de curva logística de crecimiento .

PROVINCIAS	VARIABLE “a”	VARIABLE “b”
<b>BOLIVAR</b>	10,2219451	-0,30015513
<b>CHIMBORAZO</b>	5,04026846	-0,17177519
<b>COTOPAXI</b>	5,97674419	-0,15424333
<b>PASTAZA</b>	4,52825553	-0,20008337
<b>TUNGURAHUA</b>	3,43786982	-0,17148569

Tabla 6.6. Variables aplicando el Método de Curva logística de Crecimiento

Aplicando los valores correspondientes a los años de interés, se obtienen los resultados que se detallan en la tabla 6.7; en la figura 6.8 se muestra una gráfica de los resultado obtenidos para la densidad telefónica de la Zona Central del Ecuador. La proyección mostrada en la figura se la hace hasta el año 2030 con el objeto de que pueda apreciarse la asíntota existente en una densidad igual a 45 de acuerdo a lo esperado.

	PROVINCIAS				
	BOLIVAR	CHIMBORAZO	COTOPAXI	PASTAZA	TUNGURAHUA
AÑO	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD	DENSIDAD
<b>2005</b>	6,81	9,84	8,35	11,15	13,08
<b>2006</b>	8,73	11,22	9,45	12,91	14,73
<b>2007</b>	11,04	12,73	10,65	14,83	16,48
<b>2008</b>	13,72	14,35	11,96	16,88	18,30
<b>2009</b>	16,74	16,08	13,36	19,04	20,19
<b>2010</b>	20,00	17,90	14,85	21,27	22,11
<b>2011</b>	23,36	19,78	16,42	23,52	24,04
<b>2012</b>	26,69	21,70	18,06	25,74	25,94
<b>2013</b>	29,84	23,63	19,75	27,91	27,80
<b>2014</b>	32,69	25,54	21,47	29,97	29,58
<b>2015</b>	35,19	27,41	23,21	31,91	31,27

Tabla 6.7. Densidad Telefónico Proyectado en la Zona Central del Ecuador.

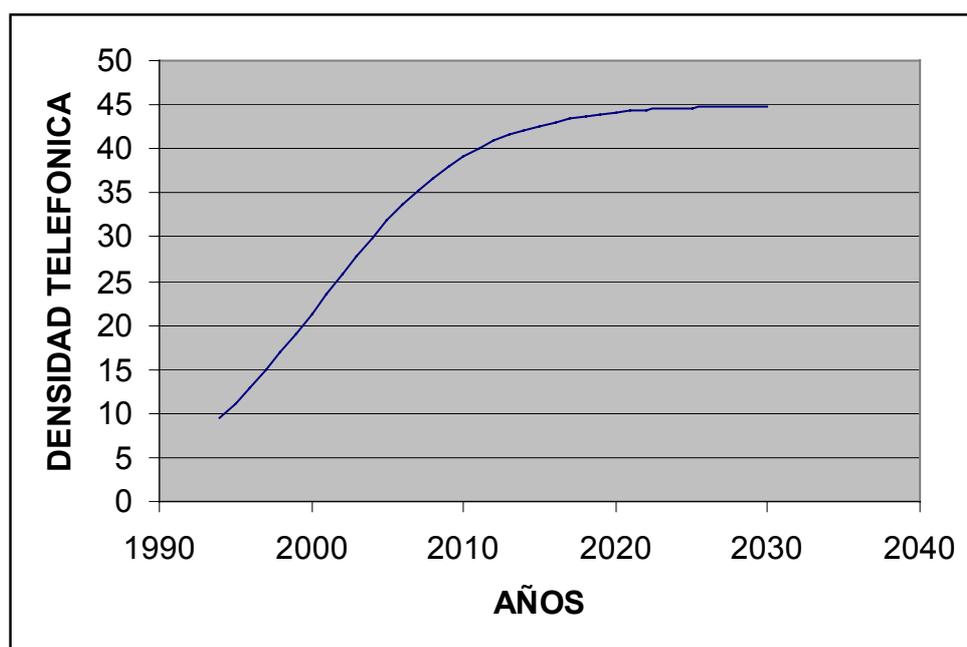


Figura 6.8. Proyección de la densidad telefónica de la Zona Central del Ecuador. (Curva Logística de Crecimiento)

Relacionando la densidad telefónica con el número de habitantes de cada provincia, se obtiene el número de abonados de cada una que conforman la Zona Central del País, datos que serán utilizados en la proyección de la matriz de tráfico.

En vista de que la matriz será proyectada para períodos de 5 años, se calculan los abonados desde los años 2005 al 2015; obteniéndose: (Tabla 6.8.)

AÑO	PROVINCIAS				
	BOLIVAR	CHIMBORAZO	COTOPAXI	PASTAZA	TUNGURAHUA
<b>2005</b>	9442	37245	27672	6480	54647
<b>2006</b>	12338	43123	31934	7744	62815
<b>2007</b>	15934	49673	36710	9180	71751
<b>2008</b>	20289	56898	42025	10788	81413
<b>2009</b>	25407	64780	47891	12559	91730
<b>2010</b>	31213	73275	54312	14478	102604
<b>2011</b>	37548	82317	61274	16520	113916
<b>2012</b>	44177	91817	68753	18655	125526
<b>2013</b>	50821	101664	76704	20847	137287
<b>2014</b>	57209	111732	85071	23061	149051
<b>2015</b>	63118	121888	93781	25261	160677

Tabla 6.8. Proyección de Abonados para la Zona Central del Ecuador.

Una vez que se han obtenido los datos necesarios, se procederá a realizar la matriz de proyección de tráfico para los años 2005, 2010 y 2015, en base de la matriz de tráfico del año 2004.

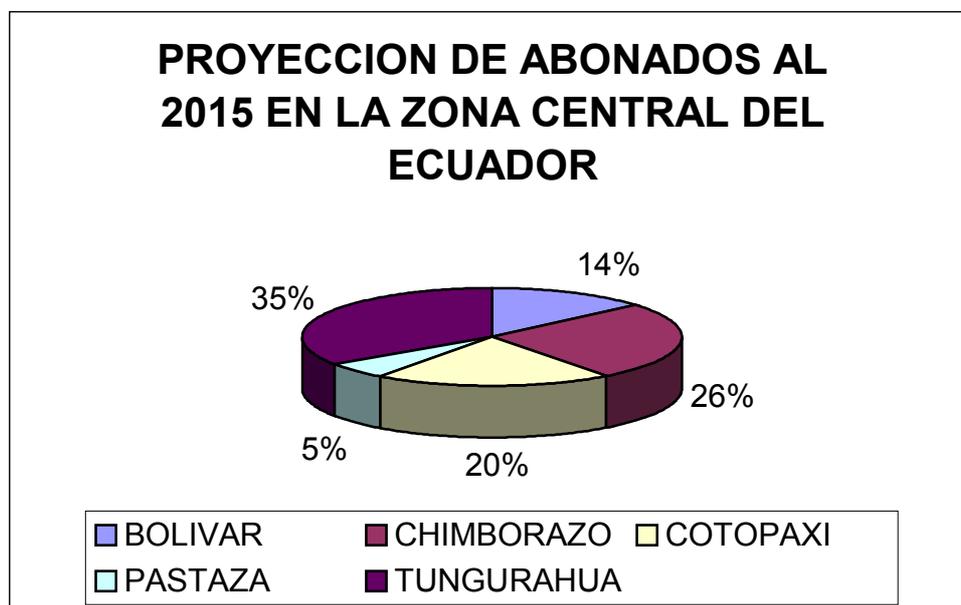


Figura 6.9. Porcentaje de Proyección de Abonados al 2015 en la Zona Central del Ecuador.

### 6.6. PROYECCIÓN DE LA MATRIZ DE TRAFICO.

El método aplicado para la proyección de la matriz de tráfico es el de Rapp, el cual proyecta los datos de la matriz basándose en la información de tráfico y el número de abonados actuales, así como el número de abonados de cada central para el año de proyección. Se ha decidido utilizar el método de Rapp, debido a que efectúa una proyección directa, sin necesidad de realizar un proceso iterativo complejo, como sucede con otros procedimientos aplicables a la estimación de matrices tráfico.

La información que se considera para la determinación de la matriz futura, es el crecimiento de abonados de las provincias de la Zona Central del Ecuador, parámetro muy susceptible de medirse adecuadamente, mientras que otros procesos consideran estimaciones de tráfico, lo que resulta más subjetivo y propenso a errores. Se considera únicamente el tráfico de pares de centrales independientes en la predicción, el resultado de cada análisis es inherente únicamente a ese par de centrales, con lo que puede detectar fallos en las estimaciones y comparar resultados para tener una intuición de la correcta obtención de los resultados.

El método considera los siguientes parámetros:

$N_i^{(0)}$  = Abonados iniciales de cada central.

$[A^{(0)}]$  = Matriz de tráfico inicial.

$N_i^{(t)}$  = Abonados de cada central al tiempo t

$[A^{(t)}]$  = Matriz de tráfico al tiempo t.

Cada una de las filas de la matriz proyectada, se determina de la siguiente manera:

$$A_i^{(t)} = A_i^{(0)} \left[ N_i^{(t)} / N_i^{(0)} \right] \alpha. \quad \text{Ecuación 6.7}$$

Donde  $\alpha$  representa una constante que depende del tipo de tráfico que se curse, se considera un tráfico por línea constante, es decir que el comportamiento del tráfico generado por cada abonado será el mismo en los años proyectados, con lo que el coeficiente toma un valor de  $\alpha = 1$ .

Para calcular cada uno de los elementos de la matriz, se usan las denominadas fórmulas e Rapp, mediante las cuales se obtienen los parámetros necesarios para la ecuación del método. Con la ecuación de la segunda fórmula de Rapp se determina el coeficiente "W", relacionado con el número de abonados futuros de cada central de la Zona Central del Ecuador, de la siguiente forma:

$$W_i = [N_i^{(t)}]^2 \quad \text{y};$$

$$W_j = [N_j^{(t)}]^2$$

El coeficiente "G", representa la tasa de crecimiento de abonados, se calcula a partir de las ecuación es:

$$G_i = \left[ \frac{N_i^{(t)}}{N_i^{(0)}} \right] \quad \text{y};$$

$$G_j = \left[ \frac{N_j^{(t)}}{N_j^{(0)}} \right]$$

Los subíndices i, j representan a la central origen y al central destino, por tratarse de un cálculo punto a punto. (central a central).

Con estos coeficientes se calcula la matriz futura a través de la ecuación:

$$A_{ij}^{(t)} = A_{ij}^{(0)} \left[ \frac{W_i G_j + W_j G_i}{W_i + W_j} \right]. \quad \text{Ecuación 6.8}$$

Considerando la matriz dato (matriz de tráfico intercentrales de la Zona Central del Ecuador año 2000), la que se detalla en la tabla 6.11, se evalúa la matriz para el año 2005, año inicial de este proyecto, los resultados se muestran en la tabla

Antes de realizar esto, debemos partir de los tráficos medios por abonados del año 2000 de cada central proporcionado por la Gerencia de Transmisión de ANDINATEL S. A. (tablas 6.9. y 6.10.), y se considera un ligero aumento del 1% cada cinco años, en todas las centrales excepto en la central de la Provincia de Tungurahua en la cual el aumento es el del 2%, debido a que en está cursan mayor cantidad de tráfico; y por ser un nodo central entre las demás provincias de la Zona Central del Ecuador; estos porcentajes de incremento se los ha tomado de acuerdo a estadísticas obtenidas en ANDINATEL.

Este proceso se lo realizó debido a que no se dispone de datos de años anteriores del tráfico medio por abonado. Los resultados se los presenta en la tabla .

Una vez obtenido los tráficos medios por abonados futuros; éstos se los multiplica por el número de abonados de cada central del año respectivo, para obtener el tráfico futuro para las centrales. Los resultados se los presenta en la tabla 6.10.

La matriz original (año 2000), usada en los cálculos, incluye el tráfico generado por el uso de Internet, por lo tanto, en las mismas matrices proyectadas este tráfico se encuentra ya incluido; sin embargo, se advierte un crecimiento mayor en el sector, por lo que es necesario incluir un factor de crecimiento en las matrices proyectadas, de manera que la posible explosión de nuevos servicios en los años venideros puedan ser atendidos eficientemente por la red de acceso.

Para determinar la incidencia del uso de Internet en el tráfico cursado por las centrales de la Zona Central del Ecuador, se hará una proyección de la densidad de suscriptores de Internet, para esto, se utilizará el mismo método aplicado en la densidad de tráfico telefónico, en razón de tratarse de los suscriptores de Internet que utilizan conexión dial – up (Acceso al servicio a través de la red telefónica pública conmutada) .

Por el hecho de que el uso de Internet tiene un comportamiento diferente del que se presenta en el tráfico telefónico, la curva resultante de la proyección tendrá una pendiente más pronunciada; sin embargo, la asíntota a la que se llegaría finalmente sería el número total de abonados telefónicos, puesto que no puede haber más suscriptores que estos.

CENTRAL	BOLIVAR		CHIMBORAZO		COTOPAXI		PASTAZA		TUNGURAHUA	
	AÑO	ABONADOS	TRAFICO MEDIO	ABONADOS						
2000	4906	0,130	22536	0,030	15991	0,0460	4170	0,0810	36891	0,024
2001	6235	0,133	27542	0,032	18141	0,0470	4637	0,0813	41643	0,027
2002	7911	0,135	33343	0,035	20536	0,0480	5142	0,0815	47460	0,030
2003	10076	0,137	40214	0,037	23201	0,0485	5672	0,0817	53908	0,033
2004	12572	0,139	47770	0,039	26164	0,0490	6197	0,0910	60390	0,039
2005	15486	0,141	56755	0,041	29411	0,0510	6894	0,0920	67298	0,045
2006	19006	0,145	66508	0,045	33002	0,0560	7582	0,0965	74923	0,050
2007	23064	0,147	77117	0,047	36937	0,0570	8320	0,0978	83033	0,055
2008	27635	0,148	88422	0,048	41231	0,0580	9111	0,9890	91588	0,060
2009	32652	0,149	100212	0,049	45892	0,0590	9954	0,0989	100535	0,065
2010	38006	0,151	112243	0,050	50925	0,0610	10851	0,1010	109814	0,068
2011	43555	0,155	124256	0,055	56331	0,0670	11800	0,1068	119353	0,075
2012	49137	0,157	136007	0,057	62103	0,0680	12802	0,1078	129077	0,078
2013	54592	0,158	147280	0,059	68229	0,0690	13856	0,1088	138908	0,080
2014	59777	0,159	157908	0,062	74692	0,0700	14960	0,1090	148766	0,082
2015	64585	0,165	167776	0,065	81465	0,0720	16112	0,1111	158575	0,085

**Tabla 6.9. Tráficos medios de la zona Central del Ecuador.**

<b>CENTRAL</b>	<b>BOLIVAR</b>	<b>CHIMBORAZO</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>PASTAZA</b>	<b>TUNGURAHUA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>TRAFICO TOTAL (ERLANGS)</b>	<b>TRAFICO TOTAL (ERLANGS)</b>	<b>TRAFICO TOTAL (ERLANGS)</b>	<b>TRAFICO TOTAL (ERLANGS)</b>	<b>TRAFICO TOTAL (ERLANGS)</b>	<b>TOTAL (ERLANG)</b>
2000	637,780	676,080	735,5860	337,7700	885,384	3272,6000
2001	829,255	881,344	852,6270	376,9881	1124,361	4064,5751
2002	1067,985	1167,005	985,7280	419,0730	1423,800	5063,5910
2003	1380,412	1487,918	1125,2485	463,4024	1778,964	6235,9449
2004	1747,508	1863,030	1282,0360	563,9270	2355,210	7811,7110
2005	2183,526	2326,955	1499,9610	634,2480	3028,410	9673,1000
2006	2755,870	2992,860	1848,1120	731,6630	3746,150	12074,6550
2007	3390,408	3624,499	2105,4090	813,6960	4566,815	14500,8270
2008	4089,980	4244,256	2391,3980	9010,7790	5495,280	25231,6930
2009	4865,148	4910,388	2707,6280	984,4506	6534,775	20002,3896
2010	5738,906	5612,150	3106,4250	1095,9510	7467,352	23020,7840
2011	6751,025	6834,080	3774,1770	1260,2400	8951,475	27570,9970
2012	7714,509	7752,399	4223,0040	1380,0556	10068,006	31137,9736
2013	8625,536	8689,520	4707,8010	1507,5328	11112,640	34643,0298
2014	9504,543	9790,296	5228,4400	1630,6400	12198,812	38352,7310
2015	10656,525	10905,440	5865,4800	1790,0432	13478,875	42696,3632

**Tabla 6.10. Tráficos futuros de la Zona Central del Ecuador.**

	<b>LATACUNGA</b>	<b>AMBATO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	<b>GUARANDA</b>	<b>PUYO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>LATACUNGA</b>	-----	300,4	180,1	190,2	74,3	735.99
<b>AMBATO</b>	301,46	-----	186,52	115,42	116,6	859.21
<b>RIOBAMBA</b>	186,19	184,48	-----	210,42	78,88	650,17
<b>GUARANDA</b>	169,19	254,44	196,7	-----	37,08	565,41
<b>PUYO</b>	74,15	116.50	78.85	37.09	-----	306,37
<b>TOTAL</b>	736,99	859,32	650	565,58	306,86	3118,75

Tabla 6.11. Matriz de tráfico en Erlangs del año 2000.

	<b>LATACUNGA</b>	<b>AMBATO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	<b>GUARANDA</b>	<b>PUYO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>LATACUNGA</b>	-----	530.094	362.672	391.49	215.705	1499.961
<b>AMBATO</b>	480,192	-----	1022,736	928.52	144.958	3027.406
<b>RIOBAMBA</b>	372,672	1078,910	-----	742.45	193.021	2371.053
<b>GUARANDA</b>	380.490	973.870	795.700	-----	80.564	2146.024
<b>PUYO</b>	215.705	144.958	193.021	80.564	-----	634.248
<b>TOTAL</b>	1449,059	3027,832	2371.129	2146,024	634,248	9628,292

Tabla 6.12. Matriz de tráfico en Erlangs proyectada al año 2005.

	<b>LATACUNGA</b>	<b>AMBATO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	<b>GUARANDA</b>	<b>PUYO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>LATACUNGA</b>	-----	890.512	785.145	801.214	310.521	3106.492
<b>AMBATO</b>	894,533	-----	2832,99	2826.740	361.451	7467.314
<b>RIOBAMBA</b>	787.013	2888.79	-----	1640.670	258.586	5612.059
<b>GUARANDA</b>	794.831	2458.451	1299.843	-----	165.393	5738.918
<b>PUYO</b>	310.046	316.459	258.584	165.394	-----	1095.958
<b>TOTAL</b>	3106,423	7467,322	5612,141	5738,904	1095,951	23020,741

Tabla. 6.13. Matriz de tráfico en Erlangs proyectada al año 2010.

	<b>LATACUNGA</b>	<b>AMBATO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	<b>GUARANDA</b>	<b>PUYO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>LATACUNGA</b>	-----	1980.12	1801.11	1541.214	484.044	5806.488
<b>AMBATO</b>	1584.29	-----	6725.12	4542.52	534.974	13478.904
<b>RIOBAMBA</b>	1476.77	4288.79	-----	3894.339	432.109	10092.008
<b>GUARANDA</b>	1484.59	3858.451	1846.752	-----	338.916	10652.709
<b>PUYO</b>	484.045	534.978	432.154	338.458	-----	1790.045
<b>TOTAL</b>	5865,46	13478,875	10905,440	10656,525	1790,043	42696,3632

Tabla. 6.14. Matriz de tráfico en Erlangs proyectada al año 2015.

### 6.6.1. CONSIDERACIONES PARA EL TRAFICO GENERADO POR EL USO DE INTERNET.

Debido a la flexibilidad y a la transparencia del tipo de tráfico que soportan las redes DWDM. Se debe prever a la red para los diferentes tipos de tráfico que pueden transportar, en este caso se analizará el tráfico debido a la creciente demanda de Internet, que se cree seguirá en aumento, proporcional a los usuarios dial –up.

Primeramente se determina la densidad de usuarios de Internet respecto del número total de abonados, estos datos se utilizan para efectuar la proyección, la asíntota marca en 100, puesto que ese valor representa el 100% de abonados telefónicos, tal y como se explicó anteriormente. Los resultados obtenidos para la densidad de abonados por Internet, representa el porcentaje en el cual se debe incrementar el tráfico de la matriz. La tabla 6.15. muestra los datos de abonados para los años 2000 y 2001 y la densidad respecto del número de abonados de cada provincia de la Zona Central del Ecuador.

Con los datos de la tabla 6.15. se realizó una proyección en forma lineal y aplicando la ecuación 6.1. con los parámetros descritos, con lo que se precede al cálculo de los coeficiente “MT”, “a” y “b”, obteniéndose:

$$\delta T(t \rightarrow \infty) = 100 = 0 + \frac{(MT - 0)}{1 + a e^{b(t-t_0)}}$$

$$100 = \frac{(MT - 0)}{1 + 0}$$

$$MT = 100.$$

Como en el cálculo de la densidad telefónica, haremos un ejemplo, con la provincia de Bolívar para calcular su incremento en la matriz de tráfico por el uso de Internet.

Tomaremos el valor de densidad del año 2000 y se calcula “a”

$$\delta T(2000) = 0.75 = \frac{100}{1 + a\ell^{b(2000-2000)}}$$

$$0.75 = \frac{100}{1 + a}$$

$$a = 132.333$$

Con la densidad del año 2001 se calcula “b”:

$$\delta T(2001) = 0.95 = \frac{100}{1 + 132.33\ell^{b(2001-2000)}}$$

$$0.95 = \frac{100}{1 + 132.33\ell^b}$$

$$b = -0.23838$$

La ecuación tomará la forma:

$$\delta T(t) = \frac{100}{1 + 132.33\ell^{-0.23838(t-t_0)}} \quad \text{Ecuación 6.9}$$

Con lo cual los porcentajes de incremento para los años de interés de la Zona Central del Ecuador son los que se muestran en la tabla 6.16.

Las matrices definitivas se muestran en las tablas 6.17, 6.18 y 6.19; para los años 2005, 2010 y 2015 respectivamente.

A continuación se presentan en las tablas 6.20, 6.21 y 6.22, las matrices de tráfico con sus respectivos E1s, así como también la correspondiente distribución de E1's en cada provincia de la Zona Central del Ecuador. (30 circuitos = E1).



<b>CENTRAL</b>	<b>BOLIVAR</b>		<b>CHIMBORAZO</b>		<b>COTOPAXI</b>		<b>PASTAZA</b>		<b>TUNGURAHUA</b>	
<b>AÑO</b>	<b>ABONADOS</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>ABONADOS</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>ABONADOS</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>ABONADOS</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>ABONADOS</b>	<b>DENSIDAD</b>
2000	4906	0.75%	22536	1.51%	15991	3.67%	4170	2.15%	36891	7.59%
2001	6235	0.95%	27542	1.82%	18141	4.09%	4637	2.32%	41643	8.44%

Tabla 6.15. Porcentajes de tráfico de Internet.

<b>CENTRAL</b>	<b>BOLIVAR</b>	<b>CHIMBORAZO</b>	<b>COTOPAXI</b>	<b>PASTAZA</b>	<b>TUNGURAHUA</b>
<b>AÑO</b>	<b>% INCREMENTO</b>				
2002	1,20	2,19	4,56	2,50	9,38
2003	1,52	2,64	5,07	2,70	10,40
2004	1,92	3,17	5,64	2,91	11,53
2005	2,43	3,81	6,27	3,14	12,76
2006	3,06	4,57	6,97	3,39	14,10
2007	3,86	5,47	7,74	3,65	15,56
2008	4,84	6,54	8,58	3,93	17,13
2009	6,07	7,81	9,51	4,24	18,83
2010	7,58	9,29	10,52	4,57	20,66
2011	9,42	11,02	11,63	4,92	22,62
2012	11,67	13,02	12,84	5,30	24,70
2013	14,36	15,32	14,16	5,70	26,91
2014	17,54	17,95	15,58	6,13	29,24
2015	21,26	20,92	17,13	6,60	31,68

Tabla 6.16. Porcentajes de incremento en la matriz de tráfico por el uso de Internet.

	<b>LATACUNGA</b>	<b>AMBATO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	<b>GUARANDA</b>	<b>PUYO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>LATACUNGA</b>	-----	626.681	385.257	404.526	220.683	1537.147
<b>AMBATO</b>	502.905	-----	1045.321	941.556	149.936	3414.118
<b>RIOBAMBA</b>	395.385	1175.497	-----	755.486	197.999	2461.367
<b>GUARANDA</b>	403.203	1070.457	818.285	-----	85.542	2198.487
<b>PUYO</b>	220.418	149.932	197.99	85.600	-----	654.169
<b>TOTAL</b>	1539,914	3414.180	2461.47	2198,17	654.163	10267.90

Tabla 6.17. Matriz de tráfico en Erlangs considerando el aumento por Internet para el año 2005.

	<b>LATACUNGA</b>	<b>AMBATO</b>	<b>RIOBAMBA</b>	<b>GUARANDA</b>	<b>PUYO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>LATACUNGA</b>	-----	1276.190	915.4860	909.763	323.042	3434.481
<b>AMBATO</b>	976.231	-----	2963.330	2935.289	373.972	9010.822
<b>RIOBAMBA</b>	868.711	3274.470	-----	1749.219	271.107	6133.507
<b>GUARANDA</b>	876.529	2844.138	1430.184	-----	177.914	6173.765
<b>PUYO</b>	323.041	373.985	271.100	177.916	-----	1146.333
<b>TOTAL</b>	3433.215	9010.054	6133.504	6173.100	1146.035	25895.934

Tabla 6.18. Matriz de tráfico en Erlangs considerando el aumento por Internet para el año 2010.

	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA	GUARANDA	PUYO	TOTAL
LATACUNGA	-----	3047.640	2371.462	2107.608	513.579	6870.289
AMBATO	1835.470	-----	7295.472	5108.914	564.509	17748.965
RIOBAMBA	1727.958	5356.310	-----	4460.733	461.644	13186.645
GUARANDA	1735.778	4925.970	2417.104	-----	368.451	12922.103
PUYO	513.548	564.502	461.658	368.450	-----	1908.150
TOTAL	6870.204	17748.960	13186.85	12922.101	1908.183	52636.332

Tabla 6.19. Matriz de tráfico en Erlangs considerando el aumento por Internet para el año 2015.

	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA	GUARANDA	PUYO	TOTAL
LATACUNGA	-----	17	14	14	8	53
AMBATO	17	-----	50	42	5	114
RIOBAMBA	14	50	-----	28	7	99
GUARANDA	14	42	28	-----	3	87
PUYO	8	5	7	3	-----	23
TOTAL	53	114	99	87	23	342

Tabla 6.20. Matriz de tráfico en E1's con su distribución en la Zona Central del Ecuador para el año 2005.

	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA	GUARANDA	PUYO	TOTAL
LATACUNGA	-----	33	29	30	24	116
AMBATO	33	-----	134	120	13	300
RIOBAMBA	29	134	-----	31	10	204
GUARANDA	30	120	31	-----	6	187
PUYO	24	13	10	6	-----	53
TOTAL	116	300	204	187	53	860

Tabla 6.21. Matriz de tráfico en E1's con su distribución en la Zona Central del Ecuador para el año 2010.

	LATACUNGA	AMBATO	RIOBAMBA	GUARANDA	PUYO	TOTAL
LATACUNGA	-----	74	70	69	18	231
AMBATO	74	-----	258	243	19	594
RIOBAMBA	70	258	-----	98	16	442
GUARANDA	69	243	98	-----	13	423
PUYO	18	19	16	13	-----	66
TOTAL	231	594	442	423	66	1756

Tabla 6.22. Matriz de tráfico en E1's con su distribución en la Zona Central del Ecuador para el año 2015.

## 6.7. DISEÑO DE LA RED DE ACCESO DWDM PARA LA ZONA CENTRAL DEL ECUADOR

La red de acceso correspondiente a la Zona Central del Ecuador, que constituye la parte central de este proyecto, se optó por efectuar este diseño debido a que la red de fibra óptica instalada en dicha zona es apta para soportar las demandas a futuro incrementándose sus módulos para que soporten dicha demanda con equipos DWDM; a continuación indicaremos un diagrama de la topología de la fibra Óptica en la Zona Central.



Figura 6.10. Diagrama de la Fibra Óptica en la Zona Central del Ecuador.

Como podemos observar en la Figura 6.10. las líneas de color rojo indican la fibra instalada en la actualidad con un recorrido total incluido los cables en las distancias con un total de 321 Km; faltándonos la Provincia del Pastaza que está en proyecto como se muestra una línea de color verde con una distancia a cubrir de 98 Km, pasando por las ciudades de Pelileo, Baños, Mera y Puyo como podemos observar en la figura 6.11 .

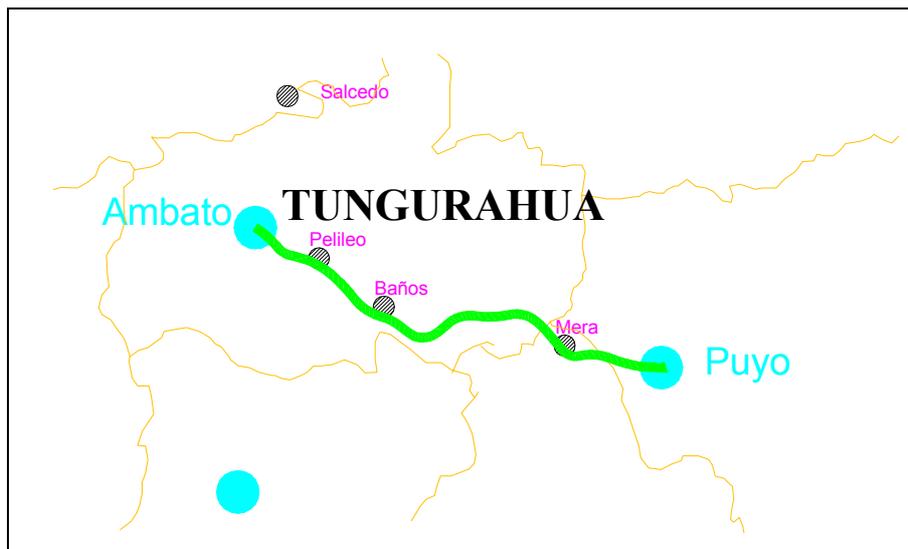


Figura 6.11. Enlace Ambato – Puyo.

Entonces la longitud total de la fibra óptica que falta instalar es de 98 Km aunque esta distancia podría variar ligeramente el momento de realizar el tendido real de la fibra, debido a que se pueden encontrar dificultades en el tránsito del cable por algún sector, especialmente en la Provincia de Pastaza.

En la Zona Central del Ecuador sirve al momento a un número aproximado de 1511373 abonados y se espera un aproximado de 1734420 abonados para el año 2015, valores con los cuales se ha trabajado en la proyección de la cantidad de tráfico cursado en estos años.

Los parámetros descritos, se utilizan en el análisis de los requerimientos de la red, necesario para efectuar el dimensionamiento, escogimiento de la fibra aunque ya está escogida según la recomendación de la UIT - T G.652, de los equipos y el diseño en sí de la red.

Antes de analizar la topología y el diseño de nuestra red de acceso para la Zona Central del Ecuador; debemos determinar la instalación de la fibra óptica para la Provincia de Pastaza, es decir que debemos llevar desde el nodo de Ambato hasta la ciudad del Puyo.

Debemos recalcar que será el mismo tipo de fibra que se instaló en otras partes del Ecuador, es decir la fibra monomodo para ducto tipo estándar de acuerdo a la recomendación de la UIT – T G.652.

Como observamos en la figura 6.11 se deberá cubrir una distancia de 98 Km. desde Ambato hasta el Puyo, pero de acuerdo a reportes actuales, se tiene que se a terminado la carretera Baños – Puyo, y simultáneamente a esta construcción se ha instalado los triductos de Polietileno de Alta Densidad para la instalación de la fibra, pero que falta la instalación de cámaras de paso y de empalme.

Se debe acotar que la canalización interurbana se lo realizo a 1.2 metros del suelo para instalar este triducto, entonces éste va en toda la carretera desde Ambato hasta llegar al Puyo, no se pudo instalar o colocar la fibra en las Redes de Alta Tensión ya que se necesitaba desconectar todo el fluido eléctrico desde Baños hasta el Oriente por esta razón no se pudo instalarla, también su mantenimiento es difícil y peligroso si se ubicaba en este tipo de Red.



**Figura 6.12. Carretera Baños - Puyo**

Se necesitaba tener esta carretera y esta red de fibra óptica, ya que es una puerta entre la Sierra y el oriente Ecuatoriano y cabe anotar que en esta zona es propicia para el turismo, empresas nacionales y multinacionales para el exploración y explotación de las riquezas mineras y petroleras de esta zona y que por ende necesita una excelente comunicación entre las diferentes ciudades no solo de la Zona Central Ecuador sino a nivel nacional e Internacional.

A continuación como se puede observar en la Figura6.13 se describe un puente y como acotamos en el Capítulo V, se debe colocar una cámara de paso a los extremos cuando hay un puente y de acuerdo a la inspección se debe tomar en cuenta que desde Ambato al Puyo existe 8 puentes, por ende será necesario colocar 16 cámaras de paso, extras a las que se deberán colocar en todo el trayecto.



**Figura6.13. Puente en la Carretera Baños – Puyo( Central de Agoyan).**

Igualmente la longitud de los carretes de esta fibra son de 4000 metros entonces debemos usar 25 carretes de fibra óptica monomodo; entonces tendremos 162 cámaras de paso y 26 cámaras de empalme, a instalarse; los detalles de costos se los realizarán en análisis de costos, de este tramo de la Zona Central del Ecuador.

Una vez determinado la instalación de la fibra óptica en la Provincia de Pastaza, analizaremos varias soluciones para resolver el problema de la saturación de la red actual, entre las cuales se podría mencionar:

- Debido a que el cable instalado consta de 48 fibras, se podría aumentar el equipo SDH según las necesidades utilizando el resto de fibras, con lo cual se aumentaría la capacidad de la red.
- Después de un análisis de crecimiento de tráfico, determinar a un cierto tiempo que se migren a DWDM, puede ser que toda la Red Troncal de

Fibra Óptica de nuestro país migren a está tecnología, con lo cual se brindaría una gran capacidad a la red, está migración involucraría la instalación parcial o total como en la Provincia de Pastaza que hay que instalar todo el equipo que requieran DWDM.

Cabe destacar que la capacidad planificada para esta red, debe prever el crecimiento de la misma cada cinco años, ya que se realizo una proyección hasta el año 2015 y se comprobó que la capacidad de la red diseñada cubría los requerimientos para dicho año.

Se ha pensado operar los diversos servicios segregándolos por longitudes de onda, así por ejemplo: el tráfico telefónico en una longitud de onda, el tráfico ATM en otra, el tráfico IP en otra, Internet en otra, etc.

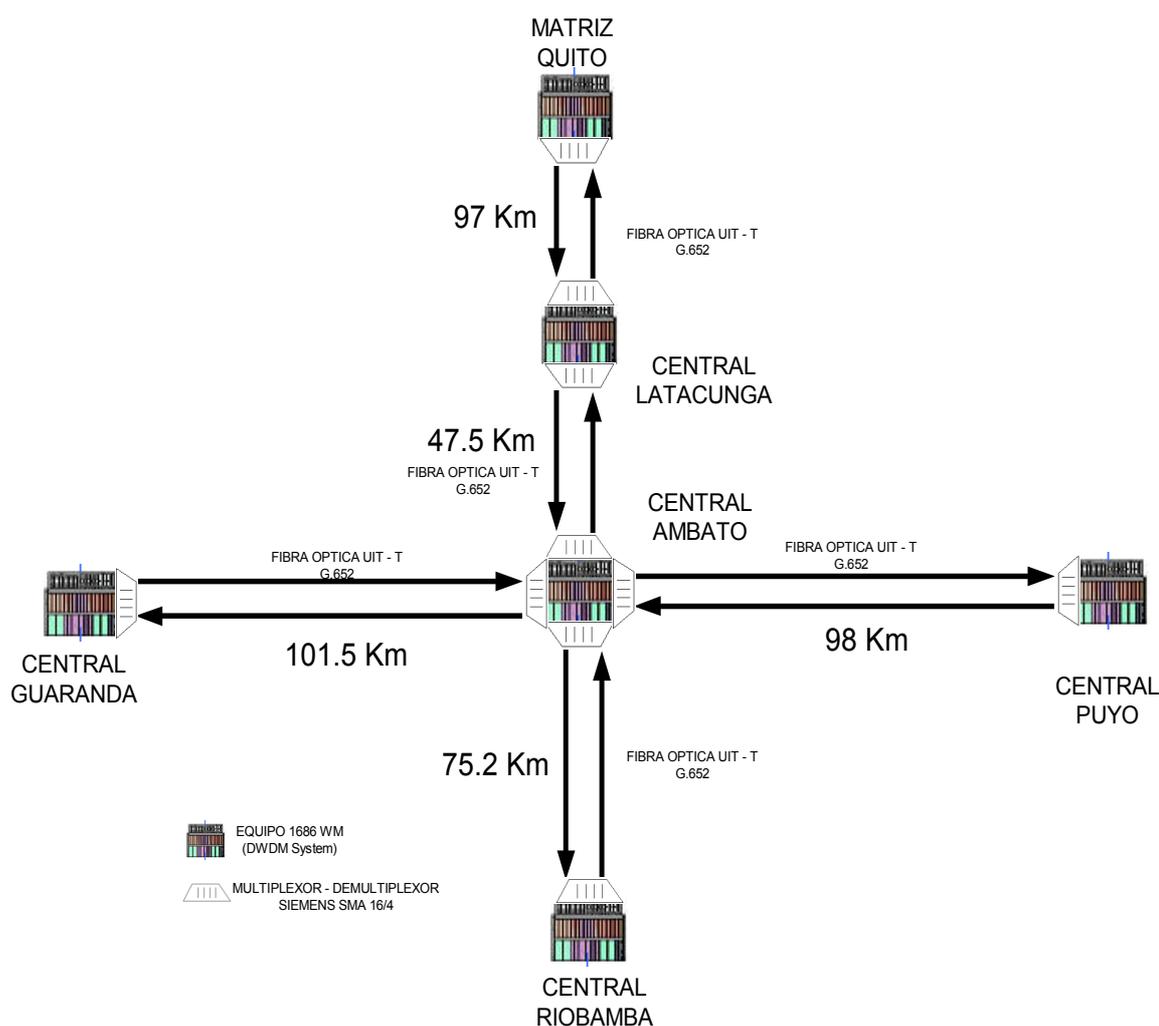
El proyecto consiste en una red óptica que recorrerá la fibra de la Zona Central del Ecuador, ya instalada por ANDINATEL para la red SDH.

El sistema de gestión será el mismo que se está usando en la actualidad pero más adelante veremos algunas características y funcionalidades de este sistema que controlaría la Red de Acceso de nuestro proyecto.

### **6.7.1.TOPOLOGÍA.**

Por el hecho de contar con una estructura de fibra ya instalada, misma que cuenta con una topología lineal, multipunto o punto multipunto, y de acuerdo a la topografía de la Zona Central del Ecuador que se puede observar en la Figura6.10.

Podemos determinar que los sistemas de fibra óptica se implementan normalmente con topologías físicas punto a punto, estrella o anillo. La topología física en anillo proporciona mayor seguridad y protección contra la eventualidad de un fallo en un nodo o cable, sin embargo resulta más costosa, la topología física de red más común y recomendada es la topología en estrella por su flexibilidad y capacidad para soportar muchas aplicaciones. En consecuencia el trazado del cableado físico instalado en las Provincias de la Zona Central del Ecuador; corresponde a una topología en estrella como se muestra en la Figura.6.14.



**Figura 6.14. Topología física en estrella.**

En este caso se incluye Quito porque ahí se encuentra el sistema de gestión y es la matriz principal donde se controla todos los elementos de la Red de nuestro diseño.

### 6.7.2. DESCRIPCIÓN DE LA RED DWDM.

El dimensionamiento de la red de acceso está basado en la proyección de la matriz de tráfico al año 2015, con su respectiva distribución de E1's, mostrada en la tabla.6.22.

Antes de seleccionar el equipo a utilizarse se realizó un análisis de las características técnicas de los equipos 1686 WM de Alcatel y Metropad WDM<sup>2</sup> de Padtec, siendo el que más se adapta a las condiciones y necesidades de la red el 1686 WM.

Entre las características más importantes que se analizaron, para escoger el equipo de Alcatel se puede mencionar:

- La cantidad de longitudes de onda mínima que puede manejar cada equipo. El 1686 WM de Alcatel maneja mínimo 8 hasta 32 longitudes de onda, mientras que el Metropad WDM<sup>2</sup> de Padtec maneja mínimo 40 longitudes de onda, la capacidad del primer equipo es suficiente para cubrir las necesidades de tráfico de la red, y presenta menor costo, debido a que la cantidad de longitudes de onda que se transmiten por tarjeta es menor.
- La modularidad del equipo 1686 WM permitirá incrementar la capacidad hasta 32 longitudes de onda, si se lo requiere.
- La protección de la Red que ofrece el 1686 WM, es segura y confiable, similar a la que se está utilizando en la red de la Zona Central del Ecuador.
- El 1686 WM hace referencia a su compatibilidad con la fibra óptica según la recomendación G.652 de la UIT – T , la misma que se encuentra instalada actualmente.
- Alcatel provee dos tipos de nodos para este equipo, el nodo simple, OADM típico y el nodo dual OADM que permite la interconexión de la red, evitando así hacer una gran inversión en equipos OXC, que realizan la misma función con la diferencia que su capacidad de interconexión es superior.

Pero debemos acotar en este punto que los multiplexores SIMENS SMA 16/4 existentes en las centrales de la Zona Central; se van a utilizar y son compatibles con el equipo 1686 WM (DWDM System), evitando así un gasto innecesario; estos equipos además de multiplexar las longitudes de onda, estos trabajan como OADM para poder insertar o extraer señales de 2 Mbps en las centrales de nuestro diseño, esto permite una interconexión y evitar usar un OXC que necesitamos en la central de Tungurahua, en Ambato para poder cruzar el tráfico entre las diferentes ciudades que componen la Zona Central del País.

Los equipos ADM – 1 / ADM – 4 y ADM - 16 son capaces de aceptar la telecarga de software o aplicaciones de software sin afectar el tráfico; tienen una memoria no volátil capaz de almacenar la configuración , asignaciones de transconexión, composición de los límites paramétricos de alarma, etc.

En esta topología en estrella está conformado por las centrales de Quito que es la matriz principal y donde se ubica el sistema de gestión, Latacunga , Ambato, Guaranda, Riobamba y el Puyo. En esta red se usarán 8 longitudes de onda , debido a que la cantidad mínima que maneja el equipo, que es suficiente para cubrir las necesidades de tráfico y dejar a la red prevista para el futuro, cada longitud de onda llevará un STM – 16 correspondiente a 1008 E1's, la distribución de canalización y asignación de tráfico se explicara más adelante.

Se equiparan las centrales con el 1686 WM de Alcatel, conformando una red estrella 8 x STM – 16 bidireccional a 2 fibras, es decir que ocuparemos 2 fibras de las 48 del cable de fibra óptica existente aparte de las 2 ya ocupadas.

La distribución de tráfico por longitud de onda se la realiza de acuerdo a las necesidades actuales de la red, considerando además futuros incrementos de tráfico ya sea para el mismo operador de la red, o para otros operadores que quieran utilizar la red independientemente de cual sea su tecnología de transporte (IP, ATM, etc).

Por esto las longitudes de onda a ser multiplexadas en esta topología en estrella se las ha asignado de la siguiente manera:

- De acuerdo a la tabla 6.22. se necesitan 1756 E1 's los cuales se multiplexan en dos STM – 16, correspondientes a las dos primeras longitudes de onda  $\lambda 1$  y  $\lambda 2$  , a ser utilizadas.
- Una longitud de onda  $\lambda 3$  destinada para el tráfico internacional, este tipo de tráfico manejaría la central de Ambato ya que conecta a las demás centrales, y que en éste se interconecta la central de tráfico internacional.
- Dos longitudes de onda  $\lambda 4$  y  $\lambda 5$  para servicios de otros operadores (Internet, ATM, etc) que pueden ser incorporados en esta red.
- Las tres últimas longitudes de onda  $\lambda 6$ ,  $\lambda 7$  y  $\lambda 8$  serán reserva para los años subsiguientes al de la proyección; ya que se considera que en la red se usarán todas las fibras en 12 años, donde serán necesario aumentar las longitudes de onda y dicho equipo puede soportar estos cambios igualmente su sistema de gestión.

En la figura 6.15. se muestra un sinóptico de los anillos lógicos, para la red estrella de la Zona Central del Ecuador.

Se representa con cada color a una determinada longitud de onda, que podrá ser extraída o añadida en cada estación, lo que está representado con flechas.

Las longitudes de onda  $\lambda 4$  y  $\lambda 5$ , se podrán añadir o extraer en cualquiera de las estaciones que conforman la red en estrella, esto dependerá de las necesidades de cada operador que quiera utilizar.

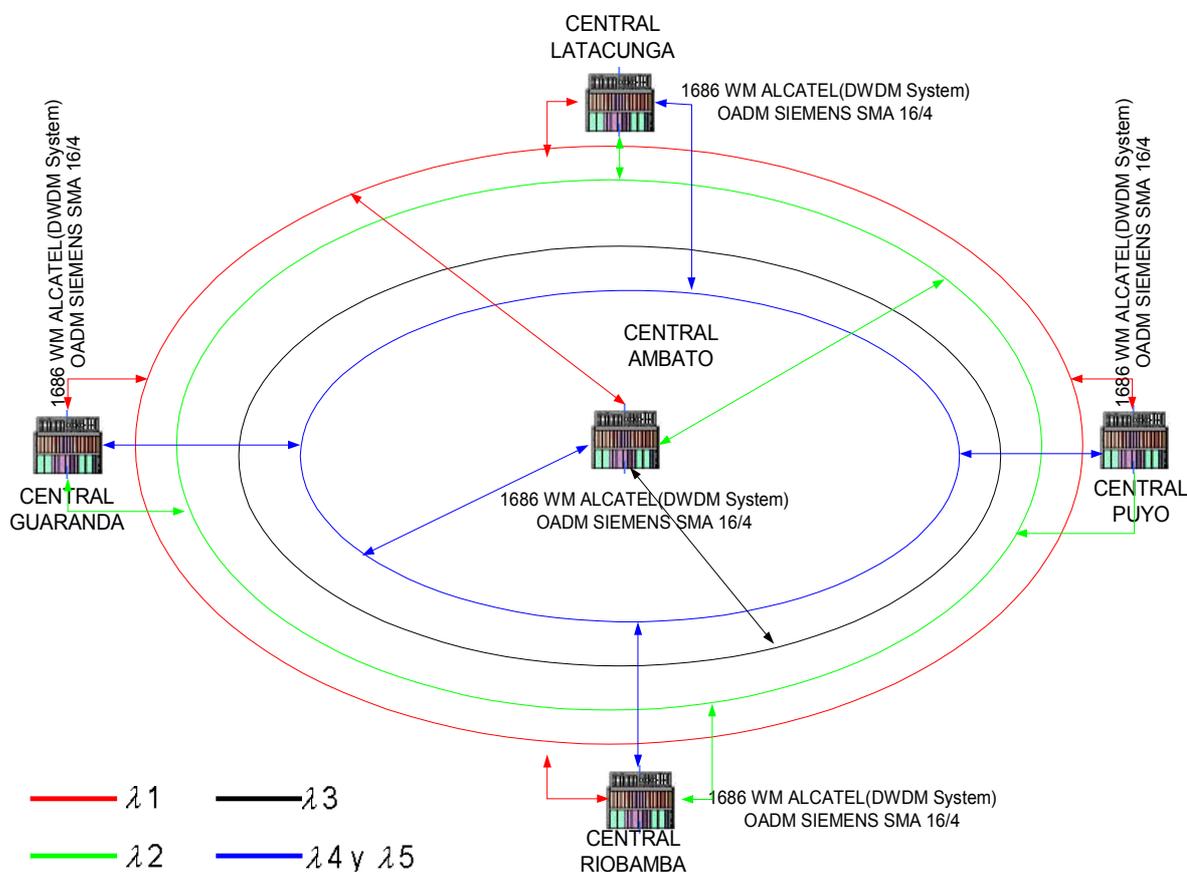


Figura 6.15. Sinóptico de los anillos lógicos para la Red en estrella de la Zona Central del Ecuador.

CONFIGURACION	ESTACION	E1 EQUIPADOS	LONGITUDES DE ONDA
	LATACUNGA	231	$\lambda 1$
	AMBATO	594	$\lambda 1$
	RIOBAMBA	442	$\lambda 2$
	GUARANDA	423	$\lambda 2$
	PUYO	66	$\lambda 2$
	<b>TOTAL E1'S EQUIPADOS</b>	<b>1756</b>	<b><math>\lambda 1</math> y <math>\lambda 2</math></b>
	<b>DISPONIBLES</b>	<b>305</b>	<b><math>\lambda 2</math></b>
	<b>TOTAL EQUIPADOS</b>	<b>2016</b>	<b><math>\lambda 1</math> y <math>\lambda 2</math></b>

Tabla 6.23. Distribución de E1's en la Zona Central del Ecuador.

A continuación se indican los diagramas de la red de acceso con DWDM en la Zona Central del Ecuador, en la Figura 6.16 indicamos la red del dimensionamiento de los multiplexores; mientras que en la Figura 6.17. observamos el diagrama de sistema de gestión con su respaldo (back - up).

En la Figura 6.18. indicamos como esta la Red de Sincronismo en la Zona Central del Ecuador como va a trabajar con los mismos equipos de multiplexores tendrán los mismo estados de sincronismos.

En algunas figuras observamos el sistema de microondas que tiene una capacidad de 138 E1 o un ancho de banda máxima de 276 Mbytes; en la cual detallamos la capacidad actual y futura que trabajara, los equipos que trabajan son el SRT 1C – 67 GHz para redes SDH.

### 6.7.3. CANALIZACIÓN.

Se refiere a la asignación de un valor de longitud de onda para cada canal, dentro de la gama de longitudes de onda designadas por la recomendación G.692 de la UIT – T.

El equipo a utilizarse cumple con la recomendación G.692 de la UIT – T , para un espaciamento de 200GHz (16 longitudes de onda), la distribución de canales para la red de la Zona Central del Ecuador se presenta a continuación:

Frecuencia (THz)	Número de canal	Longitud de onda (nm)	Longitud de onda
192.3	23	1558.98	$\lambda 1$
192.5	25	1557.36	$\lambda 2$
192.7	27	1555.75	$\lambda 3$
192.9	29	1554.13	$\lambda 4$
193.1	31	1552.52	$\lambda 5$
193.3	33	1550.92	$\lambda 6$
193.5	35	1549.32	$\lambda 7$
193.7	37	1547.72	$\lambda 8$

Tabla 6.24. Distribución de canales para cada longitud de onda.

Los números de cada canal son designados por ejemplo, que van desde el canal 23 hasta el 58, como se muestra en los anexos en la parte de descripción técnica de los equipos.

Las restantes 8 longitudes de onda se las distribuirá de acuerdo a las necesidades con el incremento de la capacidad.

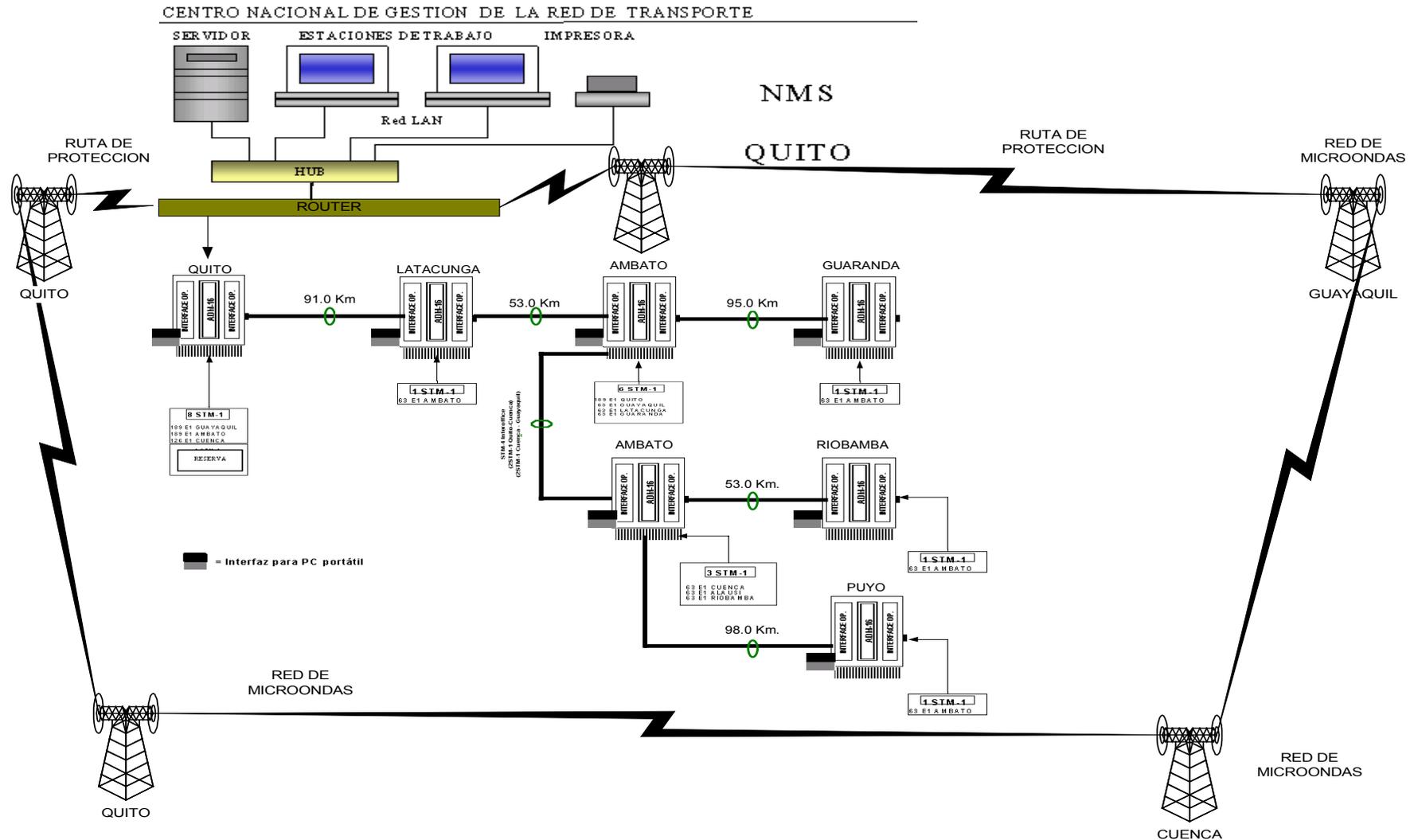


Figura 6.16. Diagrama del Sistema de Gestión Con Tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador.

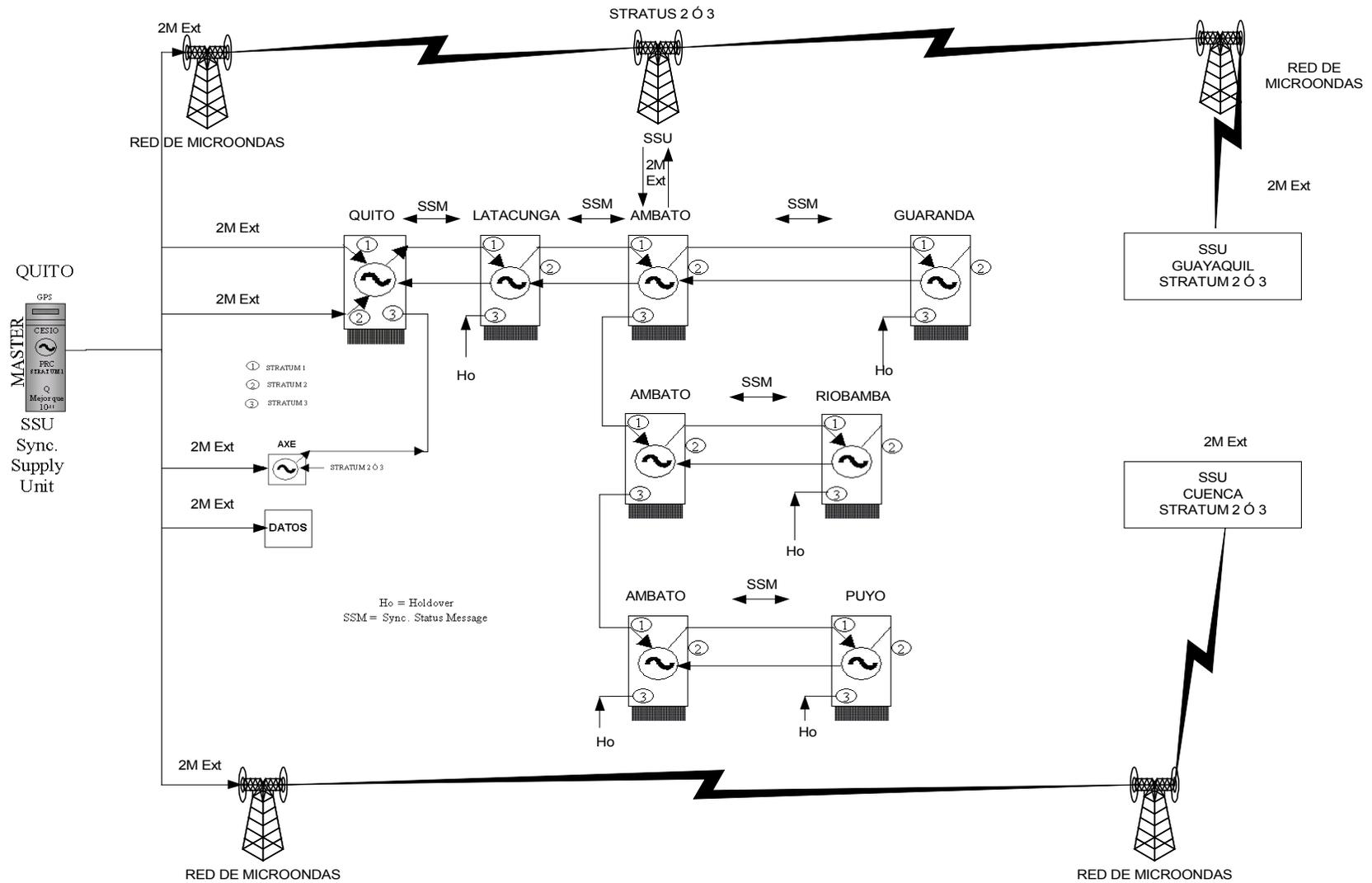


Figura 6.17. Diagrama del Sistema de Sincronismo de la Red de Acceso con tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador.

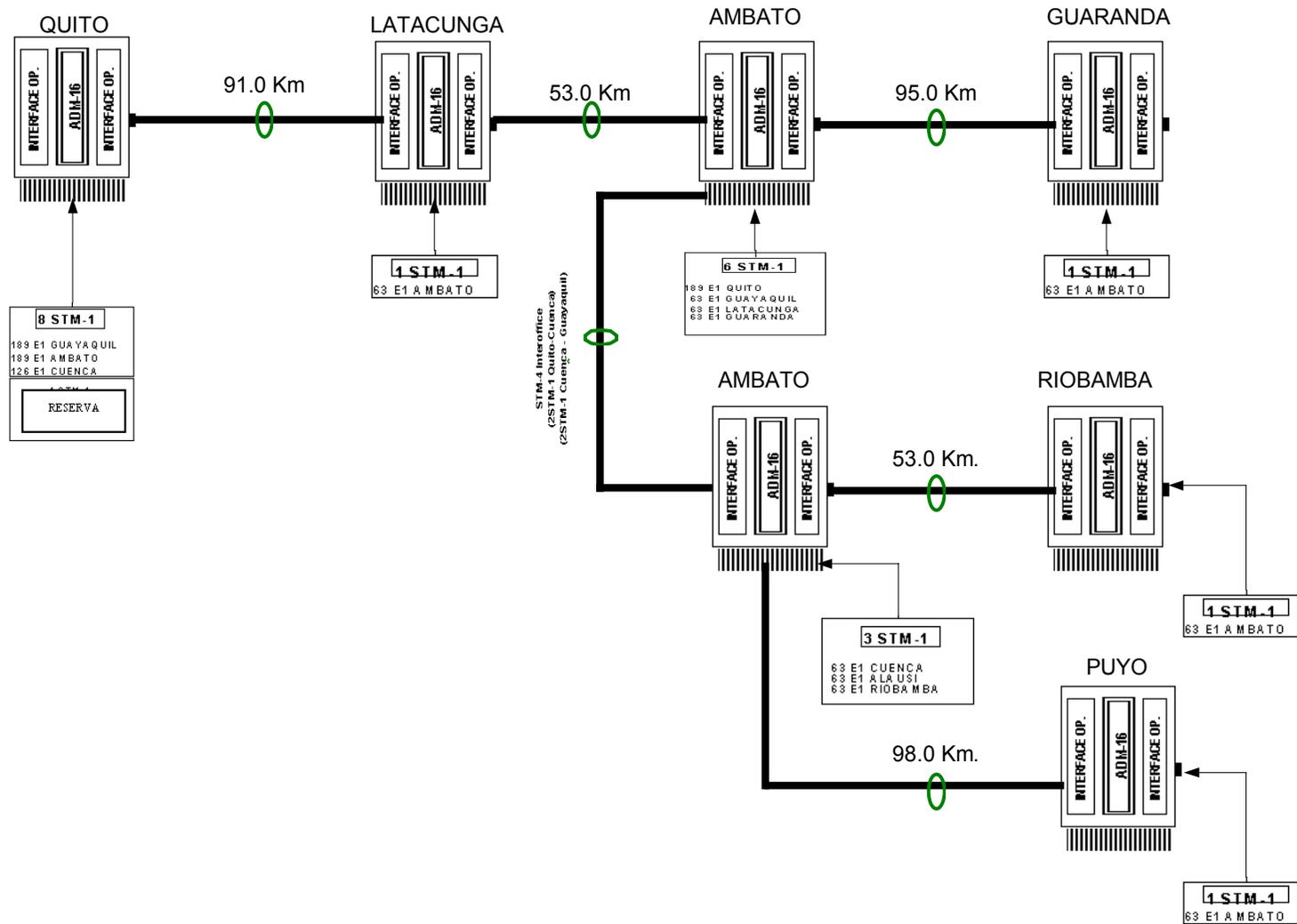


Figura 6.18. Diagrama de los Tributarios de la Red de Acceso con Tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador.

A continuación analizaremos el multiplexor SIEMENS SMA 16/4, que es aplicado en la Red Troncal de fibra óptica de la Zona Central del Ecuador.

#### **6.7.4. MULTIPLEXOR SIEMENS SMA 16/ 4**

Este multiplexor tiene un pre-amplificador y un elevador óptico y puede usarse en interfaces de STM – 16, entonces es ideal para trabajar en redes de DWDM

En la Figura 6.19. se muestra el diagrama de bloques de la estructura básica funcional con protección de línea de un equipo multiplexor SIEMENS SMA 16/4 que es similar a los demás equipos multiplexores utilizados para este tipo de aplicación de Red Troncal.

En la línea lateral, los OIS16D / OIS16-2D son módulos del send/receive (receptor transmisor) estos llevan a cabo la conversión a las señales de ópticas a eléctricas. Los módulos IPU16 forman el centro de procesamiento de señales a niveles de conexión más bajos.

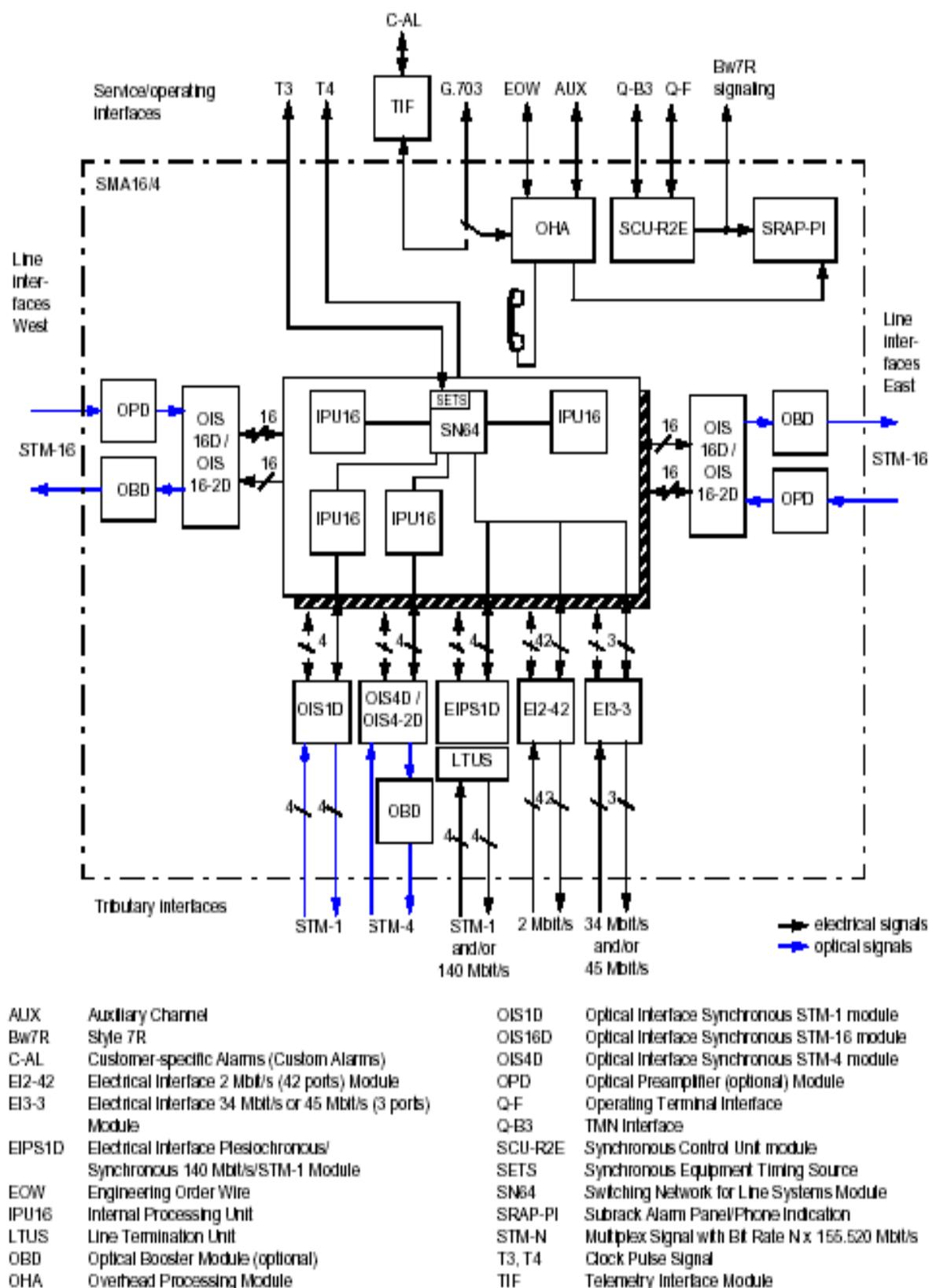
El elemento central es el módulo de la unidad de multiplexación SN64 con una conexión anti-bloqueo a través de la línea disponible y señales tributarias a los niveles VC-4, VC-3, VC-2 y VC-12. Además, el módulo de la unidad de multiplexación incluye la funcionalidad de los SETS (Synchronous Equipment Timing Source) utilizado para la sincronización local del equipo.

Unidad de procesamiento Interno IPU16 realiza todo el procesamiento de las señales (funciones de mapeo y desmapeo) para llevar a niveles de orden inferior a VC-12, VC-2 y VC-3 y para el niveles de orden superiores al VC-4. En el área tributaria, los varios módulos de interface (OIS4D / OIS4-2D, OIS1D, EIPS1D, EI2-42, EI3-3) se muestra con sus puertos.

El OPD (pre-amplificador óptico) y el OBD (elevadores ópticos) son utilizados en la recepción o en la transmisión óptica y pueden usarse con las interfaces STM-16, STM-4. El OHA es el módulo de cabecera y se utiliza para acceder a los bytes de cabecera para un usuario específico de canales de datos y canales de servicio telefónico. El módulo de TIF se utiliza para señales de la alarmas externas y control de puertos de salida.

Para estos equipos multiplexores en este tipo de Red se utiliza la función ALS (Automatic Laser Shutdown) para cerrar el láser seguramente esto sucede cuando después de una rotura de fibra el equipo en lugar de funcionar en forma defectuosa transmitiendo señal, la interface óptica distingue entre su propia señal transmita y la señal recibida del sistema del en ambos extremos, para este propósito se utilizan bytes propios dentro de la trama.

El sistema de administración y control de la red (NCT/LCT) se comunica con el multiplexor sincrónico utilizando el módulo de control SCU-R2E (Master). Este módulo del control se conecta con las computadoras periféricas, o PC's (Esclavos), mediante un sistema de comunicación interior. Este módulo controla a otros módulos encargados de guardar los datos de los elementos de la red (NE).



**Figura 6.19. Diagrama de Bloques del Equipo Multiplexor SMA 16/4**

El módulo de control SCU-R2E controla la función de mensajes de comunicación (MCF) y supervisa todas las funciones interiores de

administrados de equipos sincrónicos (SEMF). Este se encarga de genera las siguientes alarmas y mensajes del error:

- Señales Ópticas que usan LEDs (en el módulo, subrack)
- Bw7R Mensajes de la alarma (Interface de señalización tipo 7R)
- Mensajes vía la interface de F (interfaz aplicada para elementos de la red entre el centro de gestión y las terminales)
- Mensajes vía la interface de Q (interfaz aplicada entre NEF (función de elemento de red) y OSF (Función de sistema de operaciones )
- Mensajes vía DCC (Data Communication Channel)

Para la supervisión y vigilancia de fallas de equipos concatenados se utiliza alarmas como el LOM (pérdida de multitransmisión), SQM (desigualdad de Secuencia) y LOA (pérdida de alineación).

### **6.8. CRITERIOS PARA DIMENSIONAR UN ENLACE DE FIBRA OPTICA**

El diseño de un sistema de fibra óptica incluye diversos factores, tales como velocidad de transmisión, atenuación del enlace, medio ambiente, tipos de cables, tipos de fibras, equipamiento disponible, conectores ópticos, empalmes y otros.

La planificación de un sistema de transmisión por fibra óptica requiere los siguientes aspectos:

- a. Adquirir la siguiente información del fabricante del equipo óptico:
  - Recomendaciones para el diámetro de la fibra óptica.
  - Atenuación máxima permisible de la fibra óptica en dB/Km.
  - Ancho de banda máximo de la fibra óptica (MHz x Km) a la longitud de onda de trabajo especificada.
  - Longitud máxima recomendada para la fibra óptica.
  - Atenuación máxima especificada para el equipo óptico.
  - Sensibilidad del receptor del equipo al BER adecuado.
  - Potencia media de salida del equipo transmisor.
  - Rango dinámico del equipo receptor.
- b. Determinar los siguientes parámetros del plan de instalación de fibra óptica:
  - Longitud total del enlace de fibra óptica.
  - Número de empalmes requeridos y las pérdidas en cada uno.
  - Pérdidas ópticas, debido a otros posibles componentes del sistema.

- c. Calcular el presupuesto de pérdidas, para lo cual se debe obtener los siguientes datos:
- Atenuación de la fibra óptica para la distancia empleada en (dB/Km).
  - Pérdidas en los empalmes.
  - Pérdidas de conexión.
  - Pérdidas de otros posibles componentes.
  - Atenuación total del enlace.
  - Potencia media de salida del transmisor.
  - Potencia de entrada al receptor.
  - Rango dinámico del receptor.
  - Sensibilidad del receptor con el BER adecuado.
  - Margen de reserva.
- d. Para un diseño adecuado el margen de reserva del sistema debe ser mayor que cero, si no lo es se debe reexaminar los valores de las pérdidas para reducir la atenuación total del enlace.

### **6.8.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE FIBRA OPTICA PARA LA RED**

La primera decisión a tomar es si se va a instalar un sistema de fibra monomodo o multimodo, para lo cual se presentan algunas características de cada sistema:

#### **6.8.1.1.SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO.**

Las fibras monomodo poseen la capacidad de transmitir el mayor ancho de banda posible y son ideales para enlaces de transmisión a larga distancia (superior a 2 Km). La dispersión cromática de este tipo de fibra es un parámetro que permite determinar el ancho de banda del enlace a considerar entre el terminal de línea y el regenerador o entre terminales de línea.

Tienen menor atenuación que las fibras multimodo, y se dispone para longitudes de onda óptica de 1310 y 1550 (nm).

#### **6.8.1.2. SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO.**

Las fibras multimodo se adaptan mejor a distancias por debajo de los 2 Km y son indicadas a longitudes de onda de 850 y 1350 nm.

El ancho de banda de estos sistemas es más dependiente de la longitud del enlace.

Para la elección del tipo de fibra óptica se debe considerar fundamentalmente dos parámetros: atenuación y ancho de banda. Si bien el equipo óptico empleado para fibras monomodo representan una mayor inversión que el de multimodo, el ancho de banda que permite es superior, lo que garantizará no sustituir esas fibras en varios años, además la distancia a cubrir en la red a diseñarse es de , por lo tanto el más adecuado es utilizar la fibra óptica monomodo, que ya está instalada en las otras provincias de la Zona Central del País; pero adicional, esta distancia que falta cubrir es para la Provincia de Pastaza para cerrar el anillo óptico.

## **6.8.2.DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN.**

En el diseño de un enlace por fibra óptica es importante considerar dos factores: las pérdidas totales (atenuación) y el máximo ancho de banda del enlace. Las pérdidas totales de un enlace son las pérdidas de potencia de luz introducidas por todos los elementos que intervienen en el mismo, como la propia fibra, conectores, empalmes, atenuación de la fibra, curvaturas de los cables y otros factores.

Las pérdidas totales del enlace deben estar de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo óptico con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado del enlace. El máximo ancho de banda del enlace constituye el máximo régimen de datos que un sistema de comunicaciones ópticas puede soportar con un mínimo de distorsión de la señal, este parámetro está limitado por las propiedades de los equipos ópticos y características de las fibras ópticas. La máxima atenuación y la máxima longitud especificadas por los fabricantes para el uso de fibras ópticas no deben ser excedentes.

La atenuación total del enlace y las limitaciones del ancho de banda, permiten determinar la distancia máxima alcanzable entre emisor y receptor, o la distancia máxima entre dos puntos de regeneración si el enlace es largo.

### **6.8.2.1. ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE.**

La atenuación total del enlace denominada también presupuesto de pérdidas está formada por la suma de las atenuaciones parciales producidas por todos los elementos que intervienen en el mismo, expresadas en dB, siendo éstas las siguientes:

***Pérdidas introducidas por el conductor de fibra óptica:*** Son las pérdidas del tramo total de fibra instalada, se calcula mediante el producto del coeficiente de atenuación por unidad de longitud del cable de fibra determinado a partir de las hojas de especificaciones del fabricante y expresado en dB/Km a la longitud de onda de trabajo, por la longitud real de cable que se va a tender.

***Pérdidas en los empalmes:*** Son aquellas debidas a los empalmes mecánicos o de fusión en el enlace de fibra óptica. Utilizando las especificaciones de los fabricantes se puede tener un valor estimativo mediante el producto del número de empalmes por el valor de atenuación unitario. Las pérdidas en los empalmes por fusión están normalmente por debajo de los 0,1 dB y la mayoría de las uniones mecánicas en un valor alrededor de los 0,5 dB.

***Pérdidas de conexión:*** Son pérdidas debidas a las conexiones en el enlace de fibra. Se pueden obtener un valor estimativo mediante el producto del número de conectores por el valor de atenuación unitario, para este cálculo se toma un valor medio de atenuación de 0,5 dB por conector óptico, es decir considerando que por cada interconexión intervienen dos conectores y un adaptador que introducen una atenuación de 1 dB.

**Margen de diseño:** Constituye el margen de seguridad ante posibles fluctuaciones en el balance general de atenuaciones ya que con el tiempo todos los sistemas se degradan de manera apreciable, por lo tanto este aspecto debe ser previsto en la etapa del diseño para mantener el correcto funcionamiento del equipo de comunicaciones a lo largo de la vida del sistema. Un valor adoptado habitualmente es de 3 dB.

### 6.8.2.2. ATENUACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DE UN ENLACE.

La atenuación máxima permisible de un enlace viene expresada por la siguiente ecuación:

$$A_{m\acute{a}x} = P_{Tx} - P_{Rx\ min} \quad (\text{dBm}) \quad \text{Ecuación 6.10}$$

Donde:

$A_{m\acute{a}x}$	Atenuación máxima permisible.
$P_{Tx}$	Potencia de salida del emisor óptico.
$P_{Rx\ min}$	Sensibilidad del receptor para un BER confiable.

### 6.8.2.3. DISTANCIA MÁXIMA DEL ENLACE.

Representa la distancia máxima que el sistema permite alcanzar entre transmisor – receptor o entre regeneradores. El cálculo se realiza reemplazando los parámetros proporcionados por las compañías fabricantes del cable de fibra y del equipo óptico en la siguiente ecuación:

$$P_{Tx} - (A_{f0} x L_{max}) - \left( A_e x \frac{L_{max}}{x} \right) - A_c - M_d \geq P_{Rx\ min} \quad \text{Ecuación 6.11}$$

Donde:

$P_{Tx}$	Potencia de salida del emisor óptico.
$P_{Rx\ min}$	Sensibilidad del receptor para un BER confiable.
$A_{f0}$	Atenuación de la fibra óptica.
$A_e$	Atenuación de empalmes.
$A_c$	Atenuación por conectores.
$M_d$	Margen de diseño del enlace.
$L_{max}$	Distancia máxima del enlace.
$x$	Longitud de la bobina del cable de fibra expresada en Km.

#### 6.8.2.4. ANCHO DE BANDA DEL TENDIDO DE FIBRA OPTICA.

El ancho de banda del cable de fibra óptica, y por tanto del tendido no permanece constante sino que disminuye de forma proporcional con la longitud del tendido. En el caso de los tendidos con fibras monomodo el ancho de banda está determinado por el fenómeno físico de la dispersión cromática, el mismo que provoca un retardo en la propagación del haz lumínico, retardo que es directamente proporcional a la longitud de la fibra óptica tendida y que influye de forma proporcional en la disminución del ancho de banda total del tendido. Debido a la dependencia que tiene el ancho de banda de la longitud del tendido, el fabricante del cable óptico suministra el ancho de banda característico de cada cable refiriéndose a una distancia patrón o longitud tipo de 1 Km, por lo tanto los cables monomodo y multimodo están caracterizados por el producto:

*Ancho de banda x Longitud, expresado en MHz x Km.*

#### 6.8.2.5. PARÁMETROS DEL EQUIPO TERMINAL DE LINEA.

Los parámetros de diseño más importantes para los equipos ópticos son:

**Potencia de salida del transmisor:** Es el promedio de la potencia óptica de salida del equipo generador de luz, valor que puede ser obtenido de las especificaciones del equipo que proporciona el fabricante, expresado en dBm.

**Potencia de entrada del receptor:** Representa el umbral del nivel de la potencia de luz a la longitud de onda del equipo, se calcula restando las pérdidas totales del enlace de la potencia de salida del transmisor, expresada en dBm.

**Rango dinámico del receptor:** Es el umbral del nivel de luz en dBm dentro del cual el receptor puede aceptar potencia óptica sin que tenga lugar una degradación de su funcionamiento, el receptor recibe luz dentro de los límites de los niveles predeterminados por el fabricante. Las dos cotas que determinan el margen en recepción son respectivamente: El valor de sensibilidad mínima del receptor y el valor de sensibilidad máxima del mismo. La potencia de entrada del receptor debe estar dentro del rango dinámico del receptor.

**Sensibilidad del receptor:** La sensibilidad del receptor para una tasa de error de bit (BER) deseada es la mínima cantidad de potencia óptica que el fotodiodo necesita para una recepción confiable expresada en VER, valor que es proporcionado por el fabricante del equipo y es expresado en dBm.

**Margen restante de pérdidas:** Es la pérdida adicional de potencia óptica en dB que el enlace puede tolerar sin que se afecten sus características de trabajo, se determina restando la sensibilidad del receptor de la potencia de entrada del receptor.

### 6.8.2.6. ANÁLISIS DE LA VIALIDAD DEL ENLACE.

El análisis de la vialidad del enlace se realiza en base a los datos obtenidos del fabricante, del plan de instalación y del presupuesto de pérdidas, mediante los siguientes cálculos:

#### **Balance de Potencias.**

El balance de potencias consiste en realizar la suma en dBm, del presupuesto de pérdidas más la potencia de emisión del transmisor, a continuación se comprueba que el valor de la suma sea mayor que el de la sensibilidad mínima del receptor, es decir que se encuentre dentro del rango dinámico del receptor, entonces el sistema es viable desde el punto de vista del balance de potencias.

La siguiente ecuación muestra todos los parámetros que intervienen en el cálculo del balance de potencias

$$P_{Tx} - (A_{f0} \times L) - (A_e \times N) - A_c - M_d \geq P_{Rx\min} \text{ (dBm)} \quad \text{Ecuación 6.12}$$

Donde:

$P_{Tx}$  Potencia de salida del emisor óptico.

$P_{Rx\min}$  Sensibilidad del receptor para un BER confiable.

$A_{f0}$  Atenuación de la fibra óptica.

$A_e$  Atenuación de empalmes.

$A_c$  Atenuación por conectores.

$M_d$  Margen de diseño del enlace.

N Número de empalmes

L Distancia de tramo de fibra instala

## 6.9. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN.

### 6.9.1. CÁLCULOS DE POTENCIA PARA LA FIBRA ÓPTICA

El cálculo de potencia óptica se realiza de acuerdo a los requerimientos de la Operadora, para este caso con las características técnicas de la fibra óptica G.652 de banda de 1550 nm y con la longitud y la reserva por enlace.

Para el cálculo de potencia se toma en cuenta la metodología, los márgenes considerados, las penalidades aplicadas, el cálculo de alcance máximo por Dispersión y se toma en cuenta las interfaces ópticas de tipo STM16 y el uso o no de amplificadores y /o atenuadores ópticos. Se debe considerar para este cálculo que la longitud de reserva de fibra en las cámaras es el 5% adicional del enlace que se suma para cada enlace).

A continuación se realiza el cálculo del presupuesto de potencia con las características principales de la fibra óptica G.652:

**Atenuación** :  $\leq 0,19\text{dB/km} \leq 0,25\text{dB/km}$  a 1.550nm (Valor para cálculo: 24 dB/km).

**Dispersión Total** :  $\leq 18 \text{ psec}/(\text{nm}\cdot\text{km})$ , a 1.550 nm.

Este cálculo se realiza por cada enlace, se debe tener en cuenta todos los valores por pérdidas en el ODF, por pérdidas en empalmes, por eventos de reparación, entre otros; cada uno de estos valores se especifica para la realización de los cálculos; a continuación se muestra los cálculos en los enlaces de la Zona Central del Ecuador:

Antes de realizar los cálculos de los enlaces debemos tener en cuenta los datos de fibra y del sistema óptico; como se muestra a continuación:

### **DATOS DE LA FIBRA**

Longitud de Onda: 1550 nm  
 Atenuación: 0,24 dB/km  
 Longitud de Instalación: 4,0 km  
 Dispersión: 18,0 ps/nm\*km  
 Pérdida por Empalme: 0,05 dB  
 Pérdida por ODF: 0,50 dB  
 Eventos Reparados: 3  
 Envejecimiento (Daño por Hidrógeno en 25 años): 0,0 dB/km  
 Reparación por cambio de Rutas: 1,5 dB

### **SISTEMA ÓPTICO**

Fuente Óptica: Diodo Láser en longitud de onda de 1550nm  
 Receptor Óptico: Alta sensibilidad  
 Longitud de Onda: 1530-1560 nm  
 Tolerancia de Dispersión: 2400 ps/nm  
 Rango Espectral: 6,0 nm  
 Nivel mínimo del receptor: -30,5 dBm  
 Nivel máximo del receptor: -9,0 dBm  
 Pérdidas por conectores de extremo a extremo: 2,5 dBm  
 Potencia máxima de salida: 5,0 dBm  
 Pérdidas por equipo y dispositivos: 2,0 dB

Detalles de cálculos para una tasa de error de bits de  $1 \times 10^{-10}$

Pérdida Mínima de Red: 14,0 dB  
 Pérdida Máxima de Red: 31,0 dB

#### **a) Red de Quito a Latacunga (103 Km)**

##### **Pérdida Total de Enlace :**

$$(103\text{km} \times 0.24 \text{ dB/km}) + (0.5\text{dB} \times 2) + (31 \times 0.05\text{dB}) + 1.5 \text{ dB} = 28,8 \text{ dB}$$

*Perdida Total* = Perdida por km + Perdida por ODF + Empalmes + eventos  
Margen

*Cálculo de dispersión:* 103 km x 18,0 ps/nm\*km = 1854 ps/nm

**b) Red de Latacunga – Ambato (56 Km)**

**Perdida Total de Enlace :**

$$(56\text{km} \times 0.24 \text{ dB/km}) + (0.5\text{dB} \times 2) + (12 \times 0.05\text{dB}) + 1.5 \text{ dB} = 16,5 \text{ dB}$$

*Perdida Total* = Perdida por km + Perdida por ODF + Empalmes + eventos  
Margen

*Cálculo de dispersión:* 56 km x 18,0 ps/nm\*km = 1008 ps/nm

**c) Red de Ambato – Guaranda (108 Km)**

**Perdida Total de Enlace :**

$$(108\text{km} \times 0.24 \text{ dB/km}) + (0.5\text{dB} \times 2) + (25 \times 0.05\text{dB}) + 1.5 \text{ dB} = 29,67 \text{ dB}$$

*Perdida Total* = Perdida por km + Perdida por ODF + Empalmes + eventos  
Margen

*Cálculo de dispersión:* 108 km x 18,0 ps/nm\*km = 1944 ps/nm

**d) Red de Ambato – Riobamba (82 Km)**

**Perdida Total de Enlace :**

$$(82\text{km} \times 0.24 \text{ dB/km}) + (0.5\text{dB} \times 2) + (19 \times 0.05\text{dB}) + 1.5 \text{ dB} = 23,13 \text{ dB}$$

*Perdida Total* = Perdida por km + Perdida por ODF + Empalmes + eventos  
Margen

*Cálculo de dispersión:* 82 km x 18,0 ps/nm\*km = 1476 ps/nm

**e) Red de Ambato – Puyo ( 101 Km)**

**Perdida Total de Enlace :**

$$(101 \text{ km} \times 0.24 \text{ dB/km}) + (0.5\text{dB} \times 2) + (19 \times 0.05\text{dB}) + 1.5 \text{ dB} = 27.7 \text{ dB}$$

*Perdida Total* = Perdida por km + Perdida por ODF + Empalmes + eventos  
Margen

*Cálculo de dispersión:* 101 km x 18,0 ps/nm\*km = 1818 ps/nm

Cuando se requiere atenuadores ópticos, en el cálculo respectivo se especifica la clase y valor del atenuador que se requiere. Para el caso de distancias muy

grandes se requiere el uso de Boosters OBD y de Pre-Amplificadores Ópticos OPD, los cuales actualmente son incorporados en los equipos multiplexores.

TRAMOS DE LA RED	DISTANCIA (Km)	PERDIDA TOTAL DEL ENLACE (dB)	CALCULO DE DISPERSIÓN (ps/nm)
Quito - Latacunga	103	28.8	1854
Latacunga – Ambato	56	16,5	1008
Ambato – Guaranda	108	29.67	1944
Ambato – Riobamba	82	23.13	1476
Ambato – Puyo	101	27.69	1818

Tabla 6.25. Cálculo de Potencia de los Tramos de la Zona Central del Ecuador.

En la Tabla 6.25. indicamos el cálculo total de potencia de la Zona Central del Ecuador; donde podemos acotar que en ningún enlace es necesario un regenerador ya que en el cálculo de la dispersión están dentro del rango de la tolerancia según los datos obtenidos.

## 6.10. ACCESORIOS DE TERMINACIÓN Y CONECTORIZACION DE LA FIBRA ÓPTICA.

### 6.10.1. CONECTORES

Los conectores de fibra óptica que se usan son del tipo FC, para lo que en cada caso la pérdida máxima por conector será de 0.4 dB y la nominal de 0,2 dB. Todas las fibras de los cables deben ser conectorizadas, estos conectores se utilizan como una interfase entre el cable de exteriores y el equipo, o bien con un medio de seccionamiento o distribución donde se acceda a la fibra de forma rápida y eficiente.

El conector tiene una vida útil superior a las 1000 conexiones-desconexiones; la resistencia a la tracción es superior a 10Kg. Los ciclos de temperatura muestran que el margen de operación es desde -25 a +70 °C y el de almacenamiento desde -40 a +80 °C.

En la actualidad se dispone de varios tipos de conectores, en instalaciones con fibra monomodo es común utilizar conectores tipo FC - PC (*Fiber Conector-Physical Contact*); que están constituidos por una camisa externa de acero inoxidable, dentro de la cual se aloja una pieza cerámica que contiene el foro en el cual se introducirá la fibra. (Figura 6.20.)



**Figura.6.20. Conector FC -PC**

### **6.10.2. ODF (Optical Distribution Frame)**

Serán del tipo gabinetes con cerradura, par montaje en pared o en bastidor y con todos los accesorios necesarios, para alojar 48 fibras, que permita el acople mecánico apropiado de los conectores FC, de los pigtaills que provienen de planta externa y de los cordones ópticos que van hacia los equipos multiplexores.

Los repartidores ópticos más utilizados en este tipo de redes troncales son los paneles de conexión de fibra óptica, en ellos termina el cable de fibra óptica de exteriores y permite que el cable sea conectado al equipamiento mediante cordones de conexión de fibra óptica. El ODF suministra un punto de acceso tanto al cable de fibra como al equipo SDH.

Las fibras individuales pueden interconectarse, probarse o intercambiarse rápidamente entre el equipamiento óptico. Los paneles permiten un reconocimiento fácil de las fibras y proporciona un punto de demarcación del enlace. Consta de dos compartimientos: uno contiene los receptáculos de cabecera o adaptadores y el otro las bandejas de empalmes y el almacenamiento de exceso de fibra.

Además deben dar facilidad para la conexión de equipos de prueba y medida tales como reflectómetros, atenuadores, medidores de potencia óptica, etc.

### **6.10.3. CORDONES DE CONEXIÓN Y LATIGUILLOS**

Los cordones de conexión llamados Jumper o Patch-cord, son utilizados en la mayoría de las aplicaciones con fibras ópticas se desea un cable conectorizado en sus extremos para unir el cable de fibra de exteriores con el terminal óptico.

El Jumper/Patchcord es un tramo de cable simplex monofibra o duplex con ambos extremos conectorizados, mientras que un Pigtail tiene un solo extremo conectorizado y el otro extremo se empalma mediante fusión al cable óptico.

Para este tipo de red troncal, los conectores de fibra óptica deben ser del tipo FC, que es el estándar del mercado actual, para lo que en cada caso la pérdida máxima por conector será de 0.4dB y la nominal de 0.2 dB.

## 6.11. INSTALACIÓN DE EQUIPOS EN CENTRALES.

### 6.11.1. DIAGRAMA DE BASTIDORES, EQUIPOS SMA Y DISTRIBUIDORES DIGITALES DDF.

Este diagrama muestra el tamaño (largo, ancho y profundidad) y forma del bastidor (vista frontal), la posición del equipo ADM dentro del bastidor, la posición de los Distribuidores Digitales, como se observa en el ejemplo de la Figura 6.21.

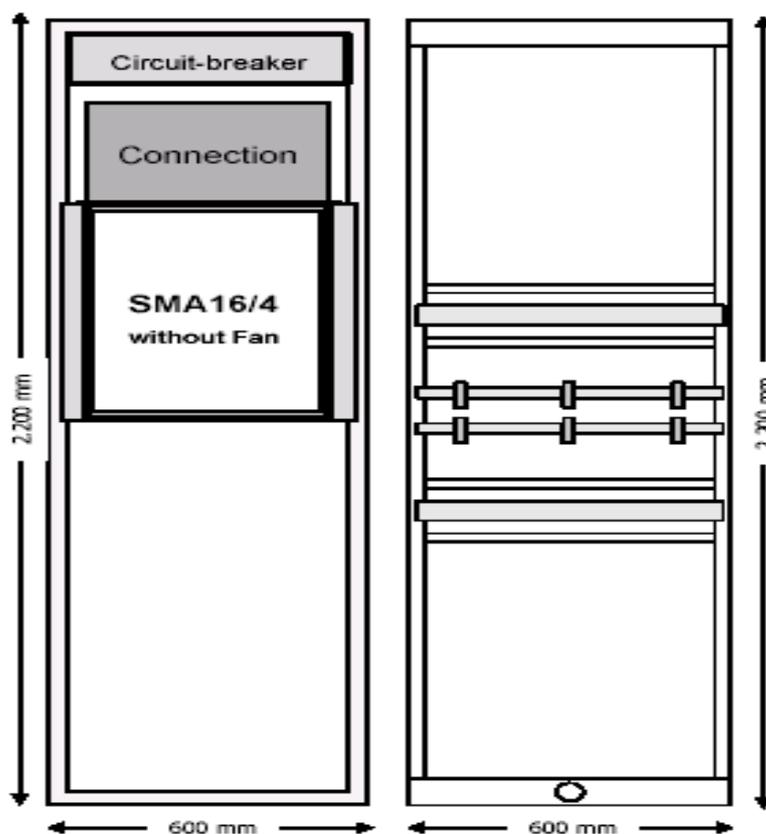


Figura. 6.21. Diagrama del Bastidor

### 6.11.2. LAYOUT DE LA CENTRAL.

Este diagrama muestra la posición de los equipos a instalarse dentro de la estación, en relación a equipos existentes dentro de la misma, como un plano de ubicación como se observa en el ejemplo de la Figura 6.22.

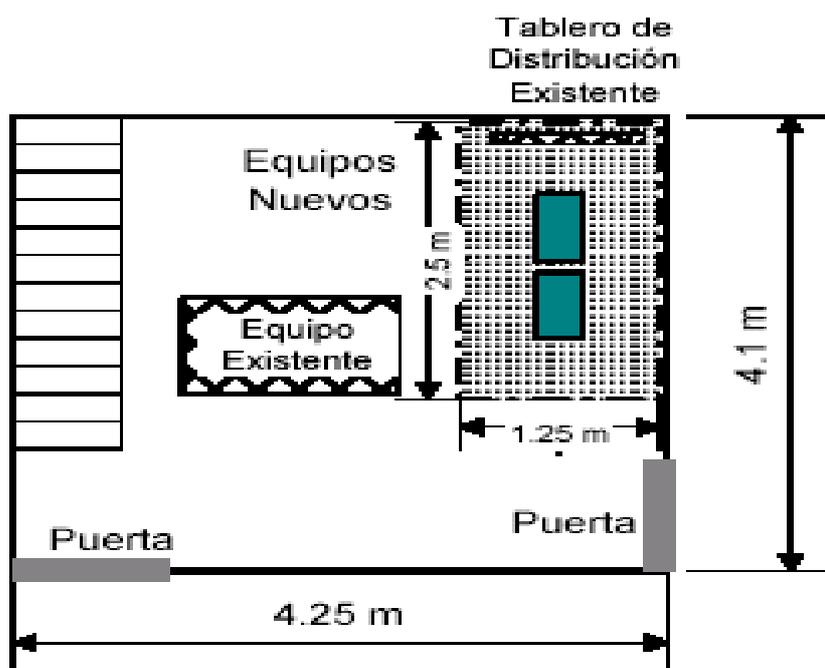
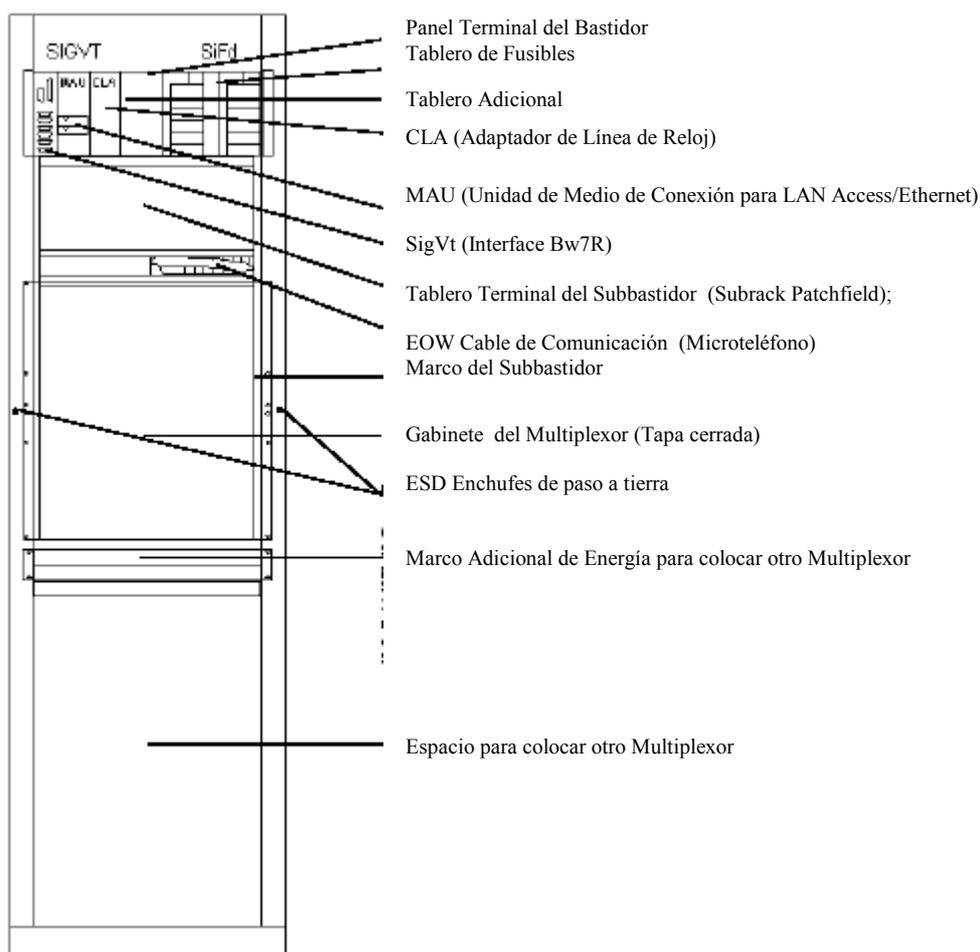


Figura 6.22. Layout de la Central

### 6.11.3. INSTALACIÓN DEL BASTIDOR, CABLEADO Y MULTIPLEXOR

En este tipo de red se instala un bastidor con especificaciones ETSI que mide 600 mm x 2200 mm x 300 mm (W x H x D) y que acomode subbastidores dentro del mismo (Figura 6.21.). Se ensambla las partes individuales y se construye atornillándolo en el sitio donde se colocara dentro de la estación. Los bastidores pueden instalarse individualmente o en combinación y pueden colocarse otros elementos de la red en el bastidor, este es el soporte donde se colocaran los equipos como se observa en la Figura 6.23. que se requieren 3 bastidores para colocar los elementos de la red.



**Figura.6.23. Equipamiento de un bastidor ETSI**

Los bastidores para este tipo de red se instalan sobre piso estándar, evitando colocar en pisos sobre elevados o ensamblar a la pared. El ensamblado sobre piso estándar se utiliza un nivel y la escuadra para identificar y marcar en el piso las posiciones de los agujeros para la fijación del equipo y de los agujeros para la instalación (si se requiere) de la barra de sujeción. Los agujeros se realizan de un diámetro adecuado en base a la dureza del piso; si el piso es duro es preciso realizar un agujero más amplio y colocar un cuerpo expandible en la sujeción de los tornillos. Se realizan los agujeros con un taladro eléctrico a percusión se coloca los espansores, luego se coloca el bastidor atornillándolo al piso y con la plomada se verifica la verticalidad del equipo y, si es necesario, se regula de forma conveniente los pies presentes en la misma base de apoyo que permiten regular la verticalidad del bastidor. Las especificaciones para la fijación del bastidor son mostradas en los manuales del bastidor del fabricante.

La conexión a tierra es importante para cada equipo eléctrico, un sistema de la telecomunicación que se interconecta debe tener un potencial equilibrado conectado con tierra. Esta conexión depende de las circunstancias locales y el ambiente.

Para este tipo de red se utiliza tablero a tierra por separado para corriente alterna y alejado del bastidor con el equipo multiplexor protege con una barra de descarga . La corriente alterna se conecta al equipo el cual posee un rectificador para operar en 48V DC, la línea de tierra de la energía y de la señal digital del equipo multiplexor es conectada al marco metálico del bastidor el cual es la tierra del sistema.

Cada central a su vez debe tener su sistema de energía continua para evitar cortes de energía.

Los equipos a colocarse en el bastidor se distribuyen como se muestra en la Figura 6.24, asegurándose al bastidor mediante tornillos y según la configuración como conexiones dadas en el manual de instalación del fabricante.

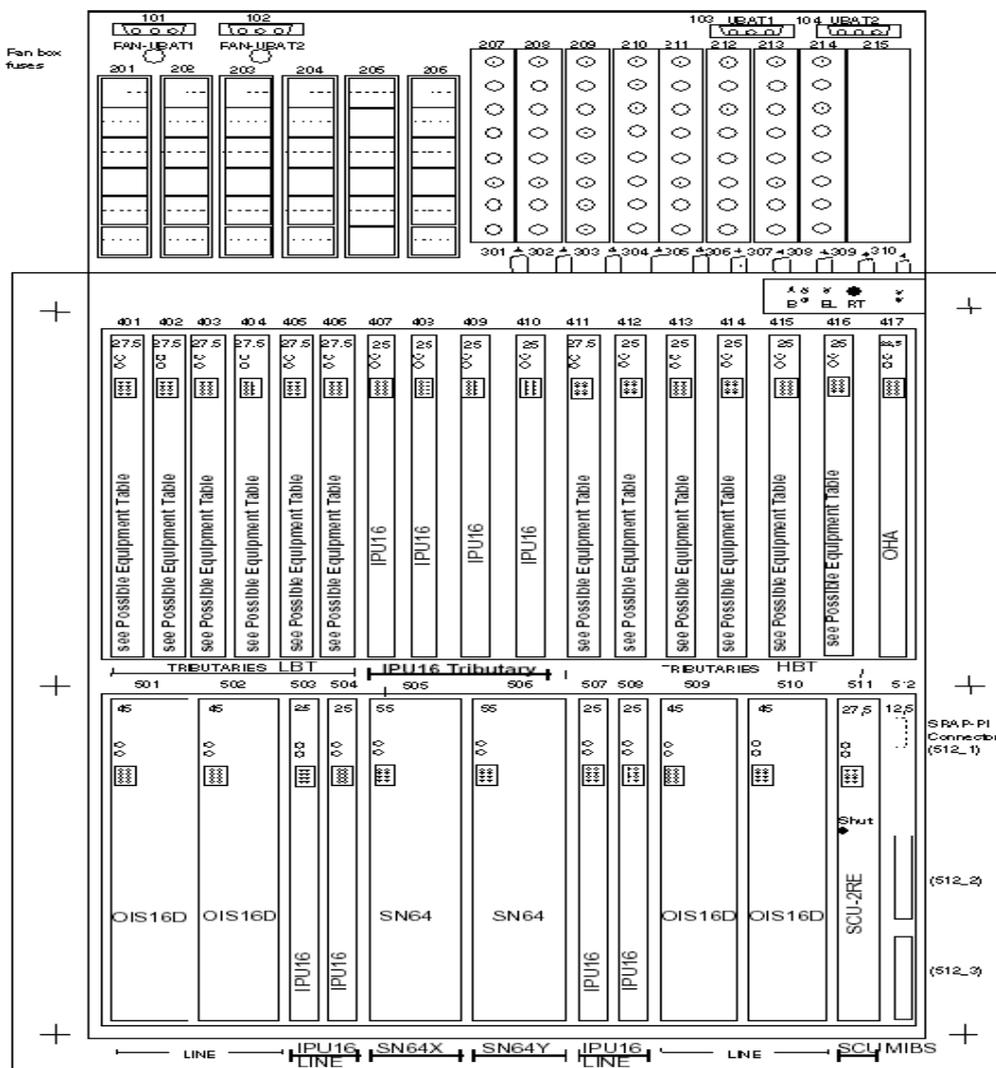
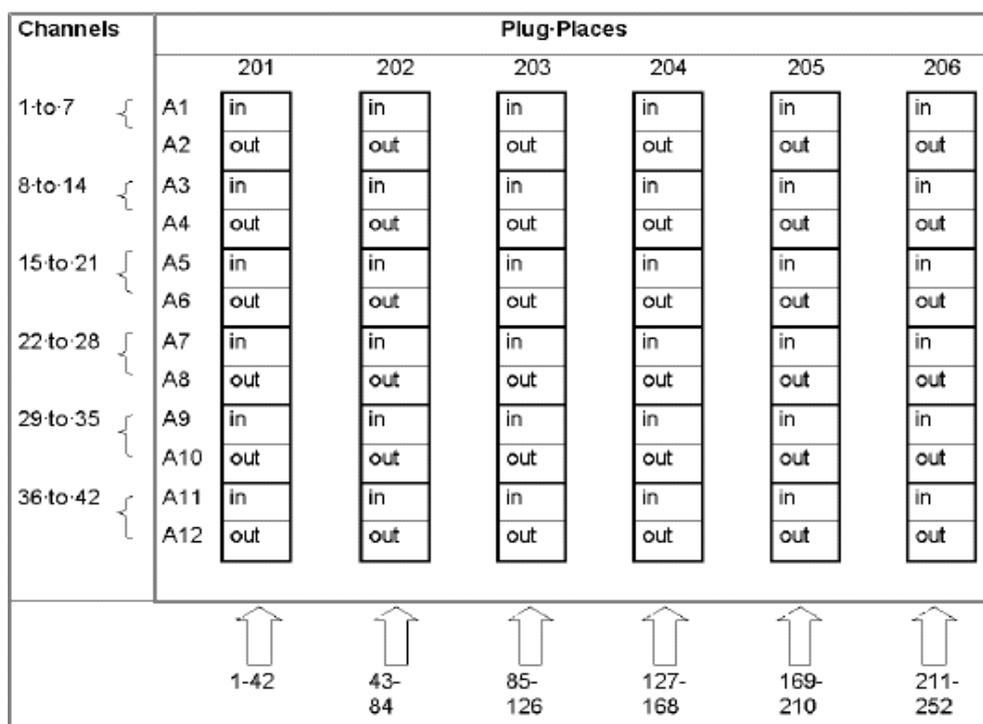


Figura. 6.24. Configuración de Módulos del Multiplexor SMA 16/4

El gabinete multiplexor, contiene las tarjetas o módulos con las diferentes funciones del multiplexor estas son colocadas según el diagrama de configuración del fabricante, como ejemplo en la Figura. 6.24. se muestra las posiciones de los módulos en los slots del SMA 16/4 , cada descripción de tarjeta o módulo es la misma que la del diagrama de bloques del multiplexor .

El tablero del sub-bastidor permite la salida o entrada de las señales tributarias eléctricas al multiplexor, la configuración de este tablero depende del fabricante como se observa en la Figura. 6.25. la configuración de interfaces para la conexión de tributarias de 2 Mbps., cada canal es una señal, para lo cual se utiliza conectores propios de 7 canales del equipo multiplexor tanto para transmisión como recepción en este tablero, teniendo un total de 252 señales tributarias para un solo equipo multiplexor. Si en una estación o central se requieren mas señales tributarias se debe instalar otro equipo multiplexor. Para señales tributarias de 34 y 45 Mbps se utilizan algunas de estas entradas del tablero especificadas por el fabricante, y para señales de 155 Mbps se utiliza otro tablero que se ubica en el bastidor junto al tablero de tributarios.



**Figura. 6.25. Configuración del Tablero de Sub-bastidor**

Conocida la cantidad de tributarios de la estación se procede armando los conectores para el tablero de tributarios según la cantidad necesaria, para ello se utiliza cable coaxial de 75 Ohms desbalanceado que es óptimo para señales tributarias, el ensamblaje del conector es dado por el fabricante ya que depende del tablero del multiplexor, se toma en cuenta la numeración del canal y si es de transmisión o recepción para lo cual se utiliza cintas de marcación de cables.

Con los conectores realizados, los cables coaxiales son separados e identificados para realizar los paneles terminales del subrack o regleta de conectores para tributarios, los cuales especifican el número de canal, si es de transmisión o recepción. Se instalan las regletas de tributarios en los bastidores los cuales contienen los paneles de conectores (DDF), ensamblado el cable coaxial con los conectores identificando claramente con el número de canal del tablero de tributarios.

Todas las líneas eléctricas (la conexión eléctrica, cableado entre la regleta y el tablero del bastidor) así como las líneas de fibra óptica se usan los marcos y soportes del bastidor para colocar el cable y se asegura por medio de lazos de cable al marco del bastidor.

Una vez instalado el multiplexor y el DDF, mediante cordones ópticos se conecta en el módulo óptico STM-16 una fibra del ODF para transmisión y otra fibra del ODF para recepción, la protección MSP 1+1 se realiza mediante otro módulo donde se utiliza otra fibra del ODF para transmisión y otra fibra para la recepción. En un enlace la fibra utilizada para la transmisión es utilizada en el otro extremo como recepción y viceversa.

## **6.12. SISTEMA DE GESTION**

El sistema de gestión que se aplicara al diseño será el mismo que se usa actualmente en la Red Troncal de Fibra óptica, denominado TNMS ( Sistema Administrador de Redes de Telecomunicaciones) este sistema de gestión se puede ampliar a mayores prestaciones a través de actualizaciones de software, o aumentando la capacidad de reconocimiento de elementos de red, ya que el sistema TNMS utilizado es esta red tiene una capacidad de reconocer hasta 250 elementos de red.

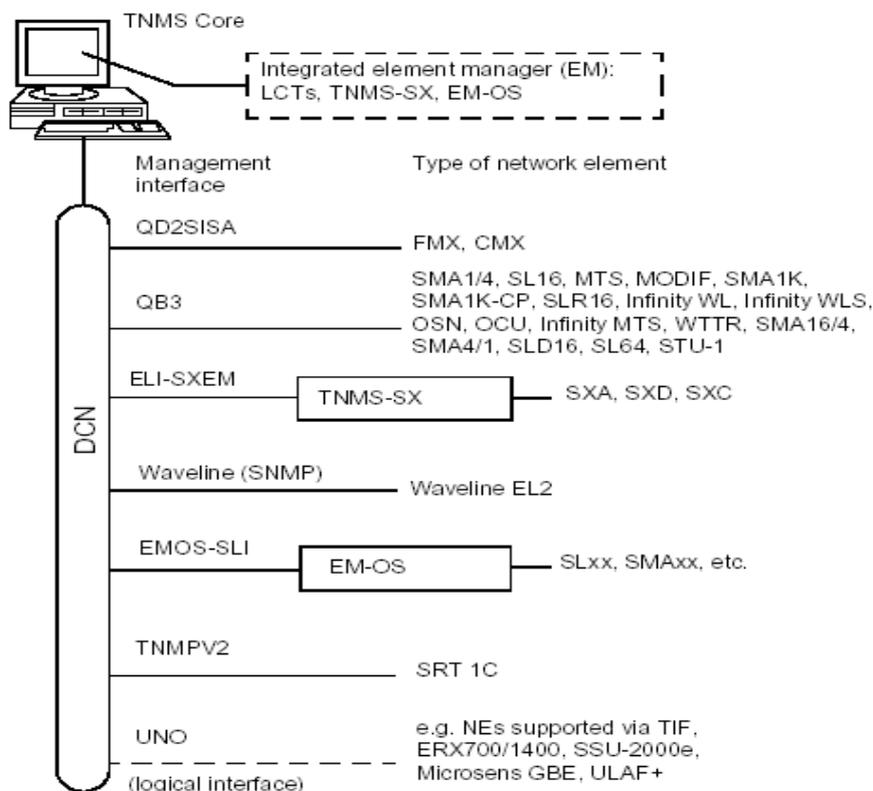
Ahora describiremos brevemente como funciona este tipo de sistema de gestión.

### **6.12.1. ESTRUCTURA DEL CENTRO TNMS.**

La estructura general de una red de transmisión manejada por un Centro de TNMS (Telecommunication Management Network System) o Sistema Administrador de Redes de Telecomunicaciones se muestra en la Figura 6.26., cada elemento de la red (NE) proporciona varias interfaces de dirección. Esto significa que todos los NE se pueden conectar vía el DCN (Data Communications Network).

Todas las conexiones desde cada elemento de red SDH hacia el sistema de gestión con todas sus terminales de mantenimiento y operación remota incluyendo las conexiones a los sistemas de gestión superiores son lo que se conoce como Data Communication Network (DCN).Las funciones de administración de los elementos son ejecutados por los administradores de los

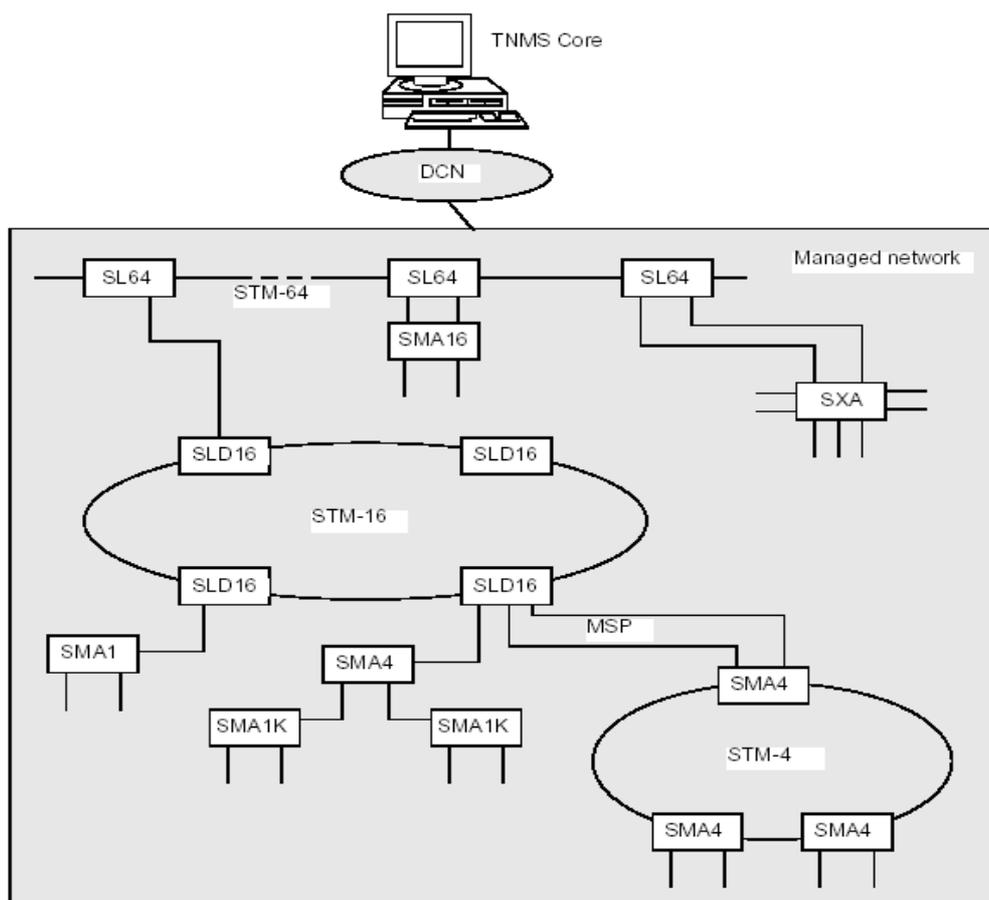
elementos (Software de Administradores Locales del equipo LCT), los cuales son parte del Centro de TNMS



**Figura. 6.26. Estructura General de un centro TNMS**

Un centro TNMS para una red troncal utiliza una combinación de varios dispositivos SDH para habilitar la administración de servicios que van de 2 Mbit/s a STM-64. Utilizan estructuras de dos líneas y de anillo que se apoyan en protecciones de la red (MSP, BSHR).

La combinación de toda la funcionalidad de administración de los elementos de red y las capacidades de extender capas de la red proporcionan el soporte necesario para que el operador de la red de extremo-a-extremo controle la vigilancia, supervisión, mantenimiento y abastecimiento de la red de SDH.



**Figura. 6.27. Distribución para la Gestión de una Red SDH**

Los mecanismos de protección se usan para asegurar la disponibilidad de continuidad de un servicio incluso si una parte de la conexión falla. Pueden protegerse servicios usando cualquier camino de protección (para el camino de la transmisión) o sendero de protección (para la red física de los elementos y líneas).

Un camino (path) comprende una secuencia de conexiones del puerto y conexiones cruzadas. Ambos extremos de los caminos pueden tener cualquiera de uno o dos puntos finales (endpoints). Los caminos de los endpoints pueden quedar sobre la misma o diferente capa de los elementos de red. La ruta y endpoints pueden modificarse por el operador.

Un sendero comprende un número definido de conexiones entre los puntos de la terminación sobre la misma capa de la red. Las conexiones en capas de la transmisión adyacentes tienen una relación client/server. Los senderos individuales son conocidos como senderos del cliente, y si se localizan sobre una capa adyacente de la transmisión, ellos pueden unirse para crear un sendero del servidor.

La protección del camino (Path Protection) se configura en el Centro TNMS y usa una serie de ventanas especializadas para crear un camino de reserva para cada elemento en funcionamiento. La opción para la conexión de protección de la sub-red (SNCP) proporciona protección a cada nivel de

transmisión y por consiguiente se usa para proteger un camino entero o partes de un camino a través de una red.

La protección del sendero se realiza en la capa de elemento de red por medio de un administrador del elemento o administrador local. Las posibilidades incluyen protección de la sección multiplexadora (MSP), un anillo bidireccional (BSHR) o protección óptica.

Protección de la sección multiplexadora (1+1) se usa sobre líneas para proteger conexiones del punto-a-punto entre los elementos de la red con capacidad multiplexación. El servicio individual no es protegido, más bien la sección multiplexadora lo realiza entre dos nodos adyacentes con función multiplexadora. MSP se proporciona en la capa de red.

### 6.12.2. COMPONENTES DE SOFTWARE DEL TNMS

El Centro de TNMS es un sistema del multi-usuario escalable esto es que permite varias aplicaciones de software sean instaladas en otros PC's adicionales, con una arquitectura client/server que comprende varios PCs de actual generación con el sistema operativo Windows NT 2000 óptimo para control de Redes Troncales y otros dispositivos externos como copiadoras, impresoras, las cuales están conectadas entre si por medio de una red LAN.

El software del Centro TNMS comprende del PC al Cliente, SysAdmin (Sistema administrativo), Servidor y aplicaciones de NetServer (servidor de red). ( Figura 6.28.)

Se instalan cliente y SysAdmin en un cliente PC, para apoyar el funcionamiento distribuido de la red, para una red troncal de este tipo se requiere mínimo 2 PC's una para cliente y 1 para SysAdmin simultáneamente. El acceso coexistente para conectar una red de computadoras es regulado por el servidor PC para que sólo un operador en un momento conceda acceso a un elemento de la red y determinar la cantidad de clientes. El Netserver se encarga de convertir los protocolos OSI de los equipos SDH en protocolos IP para controlar y administrar la red por parte del administrador de red.

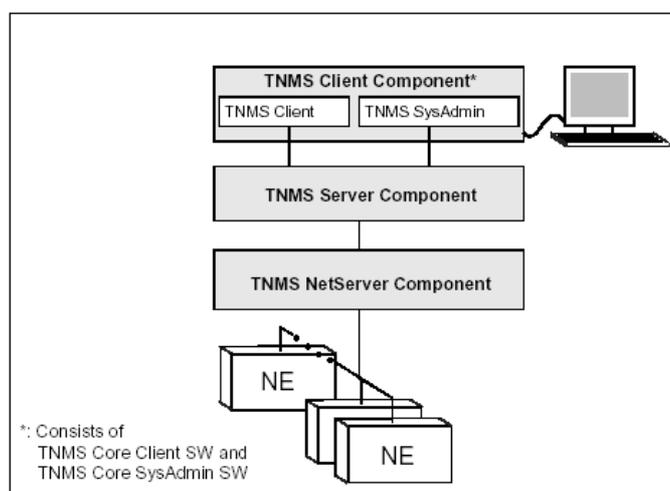


Figura. 6.28. Componentes del Software del Centro TNMS

### a) Software para Cliente TNMS

Este software proporciona una interface gráfica al usuario que puede invocarse con derechos de acceso de operador. Esta interface del usuario gráfica se usa para supervisar y manejar a los subscriptores, los servicios, la red (incluye el contenedor del NE y elementos de la red) y los canales del DCN. (Figura 6.29.)

Además, proporciona acceso al Administrador del Elemento Local de todos los elementos de la red manejados por el Centro de TNMS.

El administrador del elemento local para un NE es controlado desde el mapa de la red en el Centro TNMS seleccionando el icono del NE.

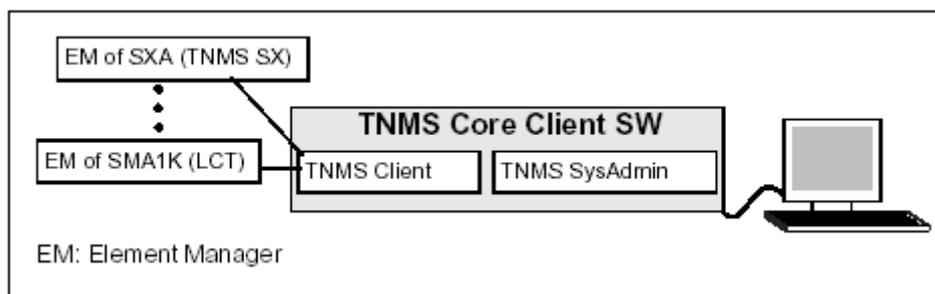


Figura.6.29. Apreciación del Software para Cliente TNMS

### b) Software SysAdmin TNMS

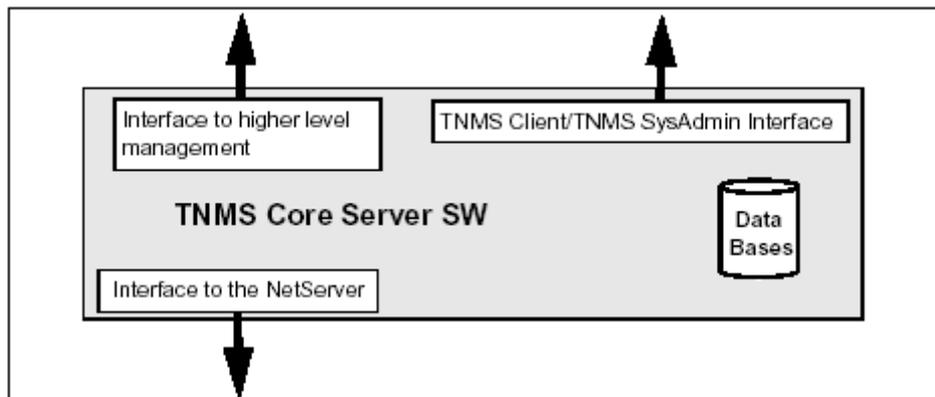
El software SysAdmin del Centro de TNMS utiliza una interface de usuario gráfica que puede ser invocada por usuarios con derechos de acceso de administrador. Por medio de esta interface de usuario gráfica el administrador puede manejar el TNMS NetServers, el Servidor de TNMS y al administrador local del elemento de red. Las interfaces externas también se manejan vía el SysAdmin y se lo considera como una pequeña central de gestión ya que pueden agregarse desde aquí nuevos elementos a la red. Presenta la misma interface gráfica que para el cliente.

### c) Software Server TNMS

En cada centro TNMS en el sistema hay siempre un solo Servidor de TNMS. El Servidor de TNMS es el componente central, las funciones principales del Servidor de TNMS (Figura 6.30.) son:

- Proveer y desempeñar funciones de administración de una red de telecomunicaciones denominado FCAPS ( Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security)
- Mantener las bases de datos para:
  - Administrar la red (subscriptores, conexiones del puerto, el topologías de la red)
  - Administrar registros (registros cronológicos de alarmas, desempeño, mensajes de sistema)
  - Administrar la configuración (para la administración del usuario, para el backup y reinicio)
- Interfaces de soporte para:
  - Las interfaces del usuario (Cliente de TNMS y TNMS SysAdmin)

- Los NetServers
- Sistemas de administración de niveles más altos



**Figura. 6.30. Funciones del Server TNMS**

#### **d) Software Netserver TNMS**

El software Netserver del Centro de TNMS trabaja como un dispositivo de mediación entre el Centro de TNMS y la Red de Comunicación de Datos (DCN). La tarea principal del Netserver es procesar la mayor cantidad del flujo de datos del DCN para reducir el paso del flujo de datos al Servidor de TNMS.

El Software NetServer consiste de ( Figura 6.31.):

- Controladores de los NE son separados de los componentes del SW del Netserver del Centro de TNMS. Ellos convierten el protocolo de interface de administración específico del NE a un simple elemento administrador del interior del Centro de TNMS.
- Conectores del DCN son responsables de proporcionar conexiones lógicas para elementos de la red controlados por el Centro de TNMS. Un conector del DCN es específico a uno de muchos perfiles protocolares. Diferentes perfiles de protocolos usan aproximaciones diferentes por establecer y mantener conexiones de los elementos de la red.
- Cache de Datos son todos los datos relevantes del elemento de red, se reflejan en un dato escondido (ej: las conexiones cruzadas), el propósito de este escondite es evitar consumir tiempo y atender a los elementos de la red.

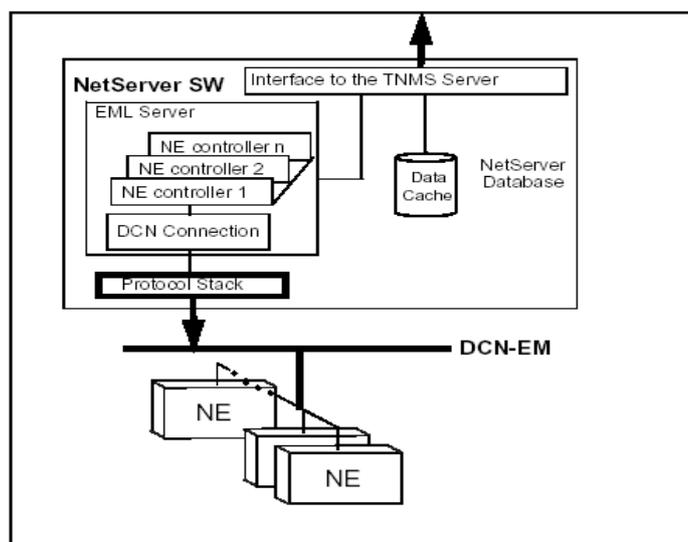


Figura. 6.31. Apreciación del Software Netserver

### 6.12.3. PROTOCOLOS EN EL DCN.

El software de aplicación en sistemas de Gestión de la red usa las capas 4 a 7 del sistema OSI. La comunicación entre los elementos de red toma lugar entre las capas 2 y 3. Los protocolos de las redes de datos tales como el OSI o el IP se implementan en la capa 3 (Figura 6.32). Se utiliza la capa 2 para la comunicación entre los elementos en una LAN común o conexiones punto a punto entre dos elementos de red.

La capa 2 trata de establecer las conexiones de datos entre los elementos de red, para lo cual se emplean en una red LAN las direcciones LAN-MAC de los elementos de red. En este caso, la capa 2 está representada por el protocolo Ethernet. La comunicación se lleva a cabo por medio de datagramas. Las direcciones se colocan en una sección del datagrama reservada para la capa 2

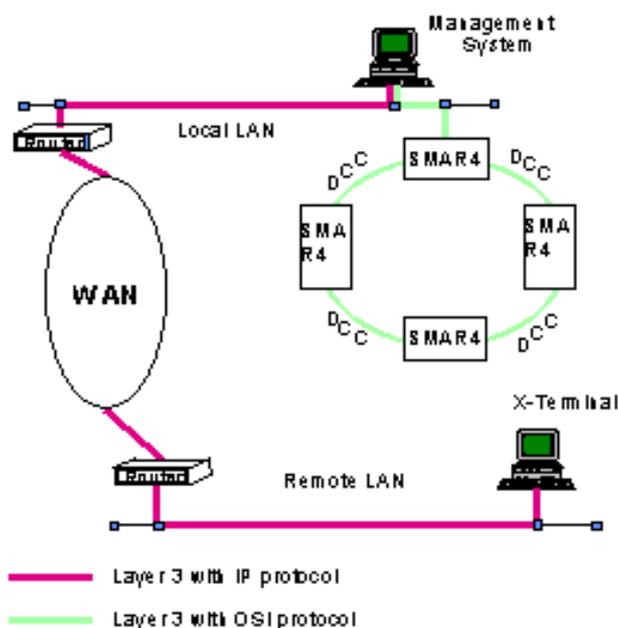


Figura 6.32. Protocolos en el DCN.

Los elementos de red SDH conectados a una LAN deben tener asignada una dirección LAN-MAC. La capa 3 trata con la comunicación en la red y entre varias redes. Cada elemento de red también requiere su propia dirección de red específica. Las direcciones específicas fuente y destino se colocan en el datagrama de datos creado por la capa 2. Sin embargo, aquí la entrada se hace en una sección reservada para la capa 3.

Para una red DCN, cada elemento de red SDH debe ser accesible desde un centro de gestión (punto central). Para lo cual se realiza la planeación de tal forma se asegura que los elementos de red sean accesibles en la misma estación.

#### **6.12.4. ALARMAS TNMS**

Las alarmas son fundamentales cuando se operan sistemas de gestión, esto se debe a que no es posible tener un sistema sin problemas, ya sea por fallas de hardware, de software, o de mal manejo de los componentes de la red. Un sistema de gestión tiene herramientas que le permiten al operador conocer las causas de los diferentes problemas que se presenten en la red.

Las alarmas son manejadas y administradas por el Servidor del Centro TNMS, un mensaje de alarma (raised o cleared alarm) es grabado en el log (registro cronológico) de alarmas, como también una lista de alarmas actuales para cada NE y se actualiza de acuerdo a los cambios reportados por el mismo.

Cuando un Cliente se conecta al TNMS Core Server, este solicita la información de alarmas a la base de datos. Cualquier cambio en la información de alarmas se envía a los clientes que se encuentren conectados como una notificación instantánea.

En este tipo de Sistema de Gestión se presentan cinco clase de alarmas las cuales son:

1. Alarma de comunicación: Asociada con los procedimientos y/o requerimientos para transportar la información desde el punto A hasta punto B.
2. Alarma de calidad del servicio: Asociada con una degradación de la calidad en un servicio.
3. Error de proceso: Asociada con fallas de procesos o de software.
4. Alarma de equipo: Asociada con fallas de equipo.
5. Alarma de ambiente: Asociada con una condición ambiental.

Además se presentan cinco clases de severidad de las alarmas:

1. Indeterminada: Indica que la severidad de la alarma no puede ser determinada por el elemento de red.
2. Crítica: Indica que ha ocurrido una falla extremadamente grave y se requiere una acción correctiva urgente.
3. Mayor: Indica que ha ocurrido una falla grave y se necesita una acción correctiva para prevenir que la falla se convierta en extremadamente grave.
4. Menor: Indica que ha ocurrido una falla que no es grave.
5. Prevención: Indica la detección de una anomalía.

En el TNMS SysAdmin se pueden configurarse causas probables esto es que el administrador puede modificar la severidad y la clase de alarma. Una vez modificada la causa probable, la notificación de la alarma tendrá las nuevas características que el administrador haya definido, por lo cual no es necesario actualizar la información del listado de alarmas.

Se distinguen dos tipos de eventos de alarmas que son:

1. **Raised:** Indica que se ha generado una alarma.
2. **Cleared:** Indica que una alarma que había sido generada ha terminado.

#### **6.12.5. PROCESAMIENTO DE LA NOTIFICACIÓN DE ALARMAS.**

Si se reciben notificaciones de alarmas en el Server TNMS o en el TNMS Cliente el sistema de gestión realiza algunas clases de acción automáticamente. La acción tomada depende de si la notificación es recibida por el Servidor o por el Cliente TNMS.

Para cada notificación de alarmas recibida por el Servidor TNMS se realizan las siguientes acciones:

- Se direcciona la notificación a todos los clientes que estén conectados.
- Se actualiza la lista de alarmas actuales.
- Se realiza la correlación automática de los servicios.
- Se almacena la notificación en el log de alarmas.

Para cada notificación de alarmas recibidas por el TNMS Cliente se realizan las siguientes acciones:

- Se actualiza la alarma.
- Se actualiza el log de alarmas.
- Se actualiza la supervisión de alarmas para los iconos de los NE y de los NE containers.
- Se actualizan las estadísticas de las alarmas actuales de los NE o de los NE containers.
- Se actualiza el estado operacional de los servicios y trayectos.

Alarmas de corta duración de un mismo objeto o eventos de conmutación de un mismo elemento se conocen como alarmas intermitentes (togglng alarms). Cuando la misma alarma aparece muchas veces en el log, el log se cambia de manera que cada alarma aparezca una sola vez con el tiempo en el cual la alarma fue creada y con el tiempo en el cual la alarma ha terminado.

#### **6.12.6. INSTALACIÓN DEL CENTRO DE GESTIÓN**

Para la instalación del Centro de Gestión de Red para telecomunicaciones (TNMS) se requiere que este ubicado en la estación principal de la Operadora, cerca de los equipos multiplexores este centro contendrá toda la infraestructura para la Gestión de la red.

El procedimiento a seguir para la instalación de un Centro TNMS es el siguiente:

- Se instalan 4 PC's (un para el servidor, un para el netserver, dos para el administrador del sistema o cliente) de especificaciones actuales o de mayores características funcionales según los requerimientos del software TNMS o de la Operadora donde funcionara el Centro de Gestión.
- Se configura las PC's con el sistema operativo y se las comunica entre si por medio de un HUB formando una red LAN
- Los elementos de la red de la estación principal de la Red troncal donde se ubican el centro de Gestión (equipos multiplexores) posee cada NE un módulo MAU (unidad de enlace al medio), que proporciona una salida de información para redes de acceso local, que se conecta por medio de un HUB en una la red LAN de los NE.
- El PC's destinado para el Netserver consta de dos tarjetas para redes ethernet, una se conecta al hub de la red LAN de los PC's y la otra a la red LAN de los multiplexores.
- En el PC's utilizado como servidor se instala el software TNMS Server
- En el PC's utilizado como netserver se instala el software OSI stacks (software encargado de transformar de protocolos OSI a IP) y el software TNMS Netserver
- En los PC's utilizados como cliente se instala el software TNMS SysAdmin/client
- En el servidor se inicia el software y se crea una cuenta de usuario para el PC del administrador y otra para el cliente.
- Se configura en el servidor los tamaños de memoria del disco duro utilizados para los registros cronológicos de alarmas, mensajes, eventos, etc.
- Se activa desde el Netserver el administrador DCN, donde se colocan las direcciones de los NE, se activan los controladores del DCN, para la comunicación de las dos redes antes mencionadas.
- Desde el PC de cliente se administran los NE, se realizan los planeamientos y verificaciones de las direcciones de los NE y las alarmas.

Los procedimientos de instalación y operación del software es especifico para cada caso y consta en los manuales del fabricante del Software adquirido por la Operadora para la gestión.

### **6.13. ANÁLISIS DE COSTOS.**

Para determinar la factibilidad del proyecto se procede a realizar un análisis de costos, el mismo que cuantifica en detalle el costo total para implementar la Red de Telecomunicaciones con fibra Óptica en la Zona Central del Ecuador.

Los datos de precios de los diversos componentes de la red que se presentarán en este capítulo se obtienen de referencias proporcionadas por proveedores.

La implementación de la red con fibra óptica con lleva costos para la adquisición de nuevos elementos (equipos terminales, paneles de conexión, cable de fibra óptica , etc), costos de instalación de los mismos (tendido del cable subterráneo, empalmes, etc...), costos para puesta en funcionamiento de los equipos (pruebas, certificaciones para garantizar un correcto funcionamiento del sistema).

En este análisis se tratará los gastos de adquisición, de instalación y puesta en funcionamiento de los equipos, a pesar de que los costos pueden variara considerablemente entre uno u otro proveedor se proporcionará una idea del capital total que se deberá invertir para la implementación de este posible proyecto para la Zona Central del Ecuador con equipos DWDM.

Se realiza por separado el análisis del costo del cable de fibras ópticas con costos de accesorios e instalación por metro, y el costo del equipo.

#### **6.13.1.FIBRA OPTICA.**

En este punto solo debemos tomar en cuenta que se instalará solo en la Provincia de Pastaza, la cual faltaba instalar fibra óptica subterránea por un triducto, en la parte interurbana y en la urbana se pasara por la canalización del mismo.

Además de la fibra se debe tomar en cuenta el bastidor o panel de conexiones óptico, accesorios de fijación e instalación del cable subterráneo, empalmes y cables de conexión interior para todas las fibras del cable.

Para realizar el estimativo de costos en lo que se refiere a fibra óptica se considera un total de 48 fibras, si bien el enlace planteado solo requiere por el diseño de transmisión bidireccional con protección 1 +1 de 2 fibras, de las cuales se trabajará una para el tráfico actual y la segunda como respaldo en caso de alguna falla.

La prueba y certificación de enlace se efectúa una vez terminada la implementación de la red de fibra óptica, y se ejecuta en este trayecto, éstas pruebas se realizan para determinara que las características ópticas del cable (como atenuación, dispersión, etc) cumplan con los estándares de calidad.

Se presenta en la tabla 6.26. un resumen del costo de la fibra óptica, de accesorios, cámaras de paso, de empalme e instalación, rack o bastidor de 19"

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>FIBRA ÓPTICA Y ACCESORIOS</b> Cable de fibra óptica monomodo, 48 fibras.	m	25,000	4.95	123,750
Panel de conexiones para 48 fibras + accesorios internos.	c/u	1	560	560
Caja de empalmes de 48 fibras + materiales.	c/u	2	540	1080
Patch cord de fibra óptica FC – FC, 1m, monomodo.	c/u	16	20	320
<b>INSTALACIÓN</b> Instalación subterránea (98 Km.)	m	98000	5	490,000
Cámaras de empalme.	c/u	26	350	9,100
Cámaras de paso.	c/u	162	200	32,400
Instalación de distribuidores	c/u	63	70	44,100
Suministro e Instalación de Herrajes y sujetadores.	c/u	7000	20	140,000
<b>PRUEBAS</b> Prueba de enlace (Certificación)	c/u	2	500	1,000
<b>COSTO TOTAL DE LA FIBRA</b>			<b>USD</b>	<b>842,310</b>

Tabla 6.26. Costo de Fibra Óptica.

### 6.13.2. EQUIPAMIENTO.

En cada una de las 5 estaciones existentes en la red se debe instalar un equipo terminal de línea con sus agregados ópticos para enlace a 2 fibras, es decir 2 interfaces ópticas de línea, el equipo terminal seleccionado incluye funciones de multiplexación a nivel de E1's ( 2,034 Mbps ) de la jerarquía SDH; a parte de los multiplexores existentes en las centrales de SIEMENS SMA 16/4, que pueden funcionar los otros dispositivos como auxiliares en vista de algún desperfecto o daño en el sistema.

Se instalará el 1686 WM de Alcatel DWDM System de 8 a 32 canales en cada una de las centrales de la Zona Central del Ecuador e incluirla en la central de Quito ya que el sistema de gestión existente será capaz de admitir los nuevos equipos tan solo les reconocerán en el momento de la instalación.

Se deberá añadir la licencia del equipo, documentación técnica, manual de instalación y operación. El equipo de energía existente en la infraestructura actual se utilizará para proporcionar energía de alimentación a los diferentes componentes de la red óptica.

Se detalla en tabla 6.27. lo siguiente: costos de equipos, accesorios, documentación técnica y demás componentes de la red; el costo de Ingeniería, diseño y documentación de la red; el costo de la instalación, configuración y pruebas de cada uno de los equipos, para cada una de las estaciones de la Zona Central del Ecuador.

En la tabla 6.28. se presenta el costo del entrenamiento del personal para la operación y mantenimiento de los equipos instalados.

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
<p><b>1686 WM ALCATEL DWDM SYSTEM</b></p> <p><b>Funciones Básicas.</b> Multiplexor AL – XLE1 con 100 puertos</p> <p><b>Módulos de Línea.</b> Módulo de enlace para fibra óptica monomodo a 1550 nm</p> <p><b>Interfaz de Tributario Eléctrico (Rec. G. 703 de la UIT – T )</b> Tipo e puertos: Balanceado (120 ohm) No. de canales por slot: 2 o 4 Conector: RJ – 45 . Desbalanceado (75 ohm) No. de canales por slot :2 Conector: BNC</p> <p><b>Interfaz de Tributario Óptico (Enlace de fibra óptica, Rec. G.652 UIT – T )</b> 1550nm, monomodo, diodo láser Conectores: FC / PC Módulo de redundancia.</p> <p><b>Fuente de Alimentación</b> Módulo de alimentación AC: 90 VAC a 260 VAC, 47 Hz a 63 Hz Módulos de alimentación DC: -48 VDC: -36 VDC a -72 VDC Consumo de energía: 20 Watt máximo Modo redundante de fuente de poder.</p>	6	170,000	1'020,000

<b>INGENIERIA Y DOCUMENTACIÓN.</b>			
<b>INGENIERIA</b> Diseño de la Red Completa	1	10,200	10,200
<b>DOCUMENTACIÓN</b> Documentación técnica del 1686 WM de Alcatel	1	120	120
<b>INSTALACIÓN</b> Instalación del 1686 WM de Alcatel	6	320	1,920
Cableado, conectorización de fibra óptica y pruebas de equipos.	6	50	300
<b>COSTO TOTAL DEL EQUIPO:</b>			<b>USD 1'032.540</b>

Tabla 6.27. Costo de equipos en la Zona Central del Ecuador.

### 6.13.2.1. COSTO DEL ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL

<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD TOTAL (Personas)</b>	<b>COSTO UNITARIO (USD)</b>	<b>COSTO TOTAL (USD)</b>
Curso básico diseño y mantenimiento de redes con fibras ópticas.	5	250	1,250
Operación y mantenimiento del 1686 WM de Alcatel DWDM System.	5	280	1,400
Mantenimiento de la Fibra Óptica.	5	280	1,400
<b>COSTO TOTAL DEL ENTRENAMIENTO:</b>			<b>USD 4,050</b>

Tabla 6.28. Costo del entrenamiento del personal.

### 6.13.3.COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

Con los resultados parciales obtenidos en los cuadros anteriores se calcula el costo total del proyecto, y se resume en la tabla 6.29. en el cual se describe el costo total de la fibra óptica y de los equipos por estación.

ITEM	DESCRIPCION	COSTO TOTAL (USD)
1	<b>FIBRA OPTICA</b> SUBTOTAL FIBRA OPTICA	842,310
2	<b>EQUIPAMIENTO</b> SUBTOTAL DE LOS EQUIPOS	1'032540
3	<b>ENTRENAMIENTO</b> SUBTOTAL ENTRENAMIENTO	4,050
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO:</b> (no incluye IVA)		<b>USD: 1'878900</b>

Tabla 6.29. Costo Total del Proyecto.

En función de los datos presentados en el cuadro anterior, se puede cotizar de una manera aproximada el costo total para llevar a cabo la implementación de la red de acceso en la Zona Central del Ecuador.

### 6.13.4. ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO .

El costo final estimado para la implementación y puesta en marcha de la red de acceso de la Zona Central del Ecuador con tecnología DWDM asciende a un total de USD 1'878900; para una red de estas características, el monto determinado resulta económico, viable a ser invertido, manteniendo la calidad de servicio ofrecido y con posibilidades e expansión.

La inversión que implica la introducción de DWDM en la red de acceso tiene una enorme retribución en cuanto se refiere a ventajas en los servicios ofrecidos por la red, la principal fuente de ingresos que se puede obtener luego de la aplicación de la red de acceso DWDM, será la transmisión de datos , se ampliará la cantidad de usuarios grandes de la red, entendiéndose como

usuarios grandes a empresas que solicitan enlaces dedicados por los que se transmitirán grandes volúmenes de datos, la nueva red marcará una diferencia ingente respecto de los niveles que se manejan hasta la actualidad; al tratarse de un servicio costoso, las ganancias serán altas y se obtendrá una amortización rápida de la inversión.

La distribución de telefonía se incrementará permitiendo entregar más líneas dentro de las provincias que conforman la zona Central del Ecuador; estableciendo una expansión en el sistema, rompiendo con la saturación existente en ciertos lugares populosos de ciudades de las Provincias centrales, la inclusión de más abonados representa mayores ingresos para la empresa lo que finalmente redundará en beneficio tanto para los clientes como para la operadora, en razón de que se mejora la calidad del servicio y se percibe ganancias aún si se mantienen las tarifas actuales.

Finalmente existe la posibilidad de introducir en el mercado de la empresa nuevas facilidades como acceso de Internet más rápido y confiable, interconexión más fácil con otras redes y la posibilidad de introducirse en la transmisión de señales de video, lo que abrirá un nuevo mercado produciendo más rentabilidad.

En suma, los beneficios que se lograrán de la aplicación de DWDM en el acceso superan con mucho a la inversión que se realiza; por lo tanto la implementación del presente diseño es una inversión con enormes ventajas y susceptible de presentar ganancias con rapidez.

Un estudio económico acerca del movimiento que tendría el mercado con la inclusión de la tecnología DWDM, es un trabajo que mostraría la dimensión exacta del crecimiento que se obtendría, sin embargo, esto implica un amplio análisis de parámetros tanto internos como externos de la empresa operadora y del mercado de las telecomunicaciones, lo que no representa el objetivo central de este trabajo.

Con el marcado crecimiento que ha tenido el sector de las telecomunicaciones en los últimos años en el país se han concesionado licencias para sistemas portadores y telefonía fija inalámbrica lo que constituye una fuerte competencia para los servicios que ofrece ANDINATEL S. A. con la red de acceso de fibra óptica DWDM se consigue una red robusta , que se convertirá en una opción de grandes posibilidades frente a la apertura de la telecomunicaciones en el Ecuador.

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

En las primeras acotaciones se consideran algunos puntos con relación al diseño de planta externa para la Red Troncal en la Zona Central del Ecuador, y las demás son relacionadas con la tecnología que estudiamos en nuestro proyecto:

- Cuando se desarrolla el diseño y se procede al relevamiento, se debe considerar adicionalmente la existencia de redes de otros servicios públicos como de agua, de luz, etc, que puedan ser afectadas durante la construcción, la profundidad en que se encuentran y por su puesto la ruta de estas redes, para lo cual se debe con anterioridad solicitar a los municipios o consejos provinciales los planos conforme a obra de esas redes, así como un recorrido con las personas encargadas de dichas redes, ya que muchas carreteras de nuestro país se han realizado mejoras, aumentado las redes sin constar en plano alguno, o redes antiguas que se desconocían su existencia.

- Durante el relevamiento se debe realizar un estudio de rutas auxiliares que unan enlaces como carreteras antiguas, rutas de ferrocarril, rutas de redes de agua, o cualquier forma de comunicar dos ciudades, ya que las carreteras asignadas para el diseño, durante la construcción surgen inconvenientes ya que en nuestro país se concesionan vías y estas concesionarias no permiten la canalización de la fibra en la carretera ni cerca de ellas.
  
- Es muy importante planificar con las distancias reales de las bobinas venidas de fabrica, la colocación en la canalización construida, la cual debe ser medida correctamente para evitar faltas de reservas en cámaras o falta de cable para llegar a un empalme, esto sucedió en varias ocasiones ya que la medida de la canalización se realizo mediante odómetros, los cuales tiene una falla del 2% cada 100 metros, lo que produjo tener que cambiar la cámara de empalme e incluso tener que sacar la bobina instalada, o dejar demasiadas reservas en las cámaras interurbanas, para lo cual se recomienda la utilización de cintas métricas de grandes distancias.
  
- Se debe tender fibra dentro de la canalización urbana manualmente controlando dentro de las cámaras los radios de curvatura del cable, para que durante el tendido no existan daños en la cubierta del cable y

evitar doblamientos o roturas de las fibras. De igual manera es preferible tender primero toda la fibra según lo planificado para posteriormente colocar las reservas dentro las cámaras, evitando cruzar el cable de fibra con otros cables de cobre. La sujeción de la reserva debe ser firme pero a la vez flexible de tal manera que en caso de levantamiento de la fibra esta se recorra y evite la rotura del cable. Se recomienda que los sujetadores del cable no presionen en exceso al cable ya que pueden presentar perdidas en el momento de la medición de potencia retrodifusa similares a la perdida de empalme.

- Se puede concluir que la utilización de esta red será en sus inicios es de baja capacidad ya que se utilizan 2 para el tráfico actual y otras 2 para el diseño con tecnología DWDM; de las 48 fibras del cable, por donde se cursa todo el trafico presentado en las matrices de tributarios de la Operadora, lo que en un futuro aumentara con la capacidad, seguridad, bajo costo y confiabilidad que presente esta red estimándose su utilización completa en unos 15 años.
  
- Con DWDM la red de fibra óptica instalada en la Zona Central del Ecuador es sumamente sencillo, expandiendo estas redes existentes y aumentar la capacidad de transporte, lo cual se traduce en poder brindar más servicios, poder llegar a más clientes y ser más competitivos. Es

decir aumentando la capacidad de la fibra existente, y mantener la tecnología instalada, simplemente se añade equipos con esta tecnología las centrales que conforman la Zona Central del País e inmediatamente tener mucha más capacidad de transporte aun costo accesible, esto permite reducir los costos y brindar la oportunidad de disminuir los precios al usuario de estos servicios; en los que se hizo el diseño en sí.

- Con esta tecnología instalada en la Zona Central del Ecuador, DWDM permitirá que las empresas comiencen a utilizar aplicaciones que por limitantes de ancho de banda no podían ser implantadas como lo es tener sitios espejo, para contingencias o aumentar el desempeño de los sistemas de información, el uso de dispositivos de almacenamiento masivo en diferentes localidades, la consolidación de servidores y el uso de aplicaciones de multimedia a distancia.
  
- El sistema de gestión usado es el Sistema TNMS Core (Sistema Administrador de Redes de Telecomunicaciones); cuya función principal es de supervisar y gestionar todos los elementos de la red; este sistema funciona en configuración active / standby es decir, cuando uno falla (activo) la red pasará a ser gestionada automáticamente por el sistema de reserva; utilizando esta red tiene una capacidad de reconocer hasta 250 elementos de red; este sistema es capaz de cambiar de versiones

de software para su mejoramiento y garantizándose estas operaciones sin causar problemas en la red ni en el servicio.

- Con este diseño y tecnología en la Zona Central del Ecuador especialmente se unen la Región de la Sierra y el Oriente; cabe anotar que en esta zona es propicia para el turismo, empresas nacionales y multinacionales para el exploración y explotación de las riquezas mineras y petroleras de esta zona , que por ende necesita una excelente comunicación entre las diferentes ciudades no solo de la Zona Central Ecuador sino a nivel nacional e Internacional.
  
- Se concluye que se da la factibilidad de implementar la tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador, debido a nuestro estudio con las matrices de tráfico y proyectando estos datos a 10 años que tiene vida útil los equipos de telecomunicaciones, pudimos observar un incremento de la demanda y los equipos actuales no soportarían la misma, por esta razón se necesita instalar está tecnología que nos permite tener más ancho de banda tan solo por una longitud de onda, y a la vez si ésta demanda exige más, éste diseño y con los equipos propuestos de Alcatel podrán dar vialidad a este tráfico actual y futuro.

- La introducción de la tecnología DWDM está justificada, se muestra como una necesidad para llegar a optimizar el uso de la fibra y llegar con mayor calidad de servicio al usuario final de la red a más de ampliar la capacidad de transmisión del sistema; y sus aplicaciones no solo van al sector industrial o comercial sino también al sector educativo, a los departamentos gubernamentales y sus diferentes dependencias, al sector financiero, y al sector de la salud.

## **RECOMENDACIONES**

- En la realización de los empalmes se recomienda que el sitio donde se empalme sea totalmente cerrado y limpio ya que como los trabajos se realizan en la carretera son propensos a la presencia de este material contaminante que afecta durante el empalme de fusión y crea pérdidas muy elevadas. Además previo a la realización de un empalme se debe limpiar todas las herramientas como las máquinas para obtener mejores resultados.
- Durante el mantenimiento se recomienda realizar patrullajes diarios en la ruta observando que no se realicen daños en la infraestructura de la canalización; cualquier anomalía o daño en las carreteras o donde se ubica la canalización debe ser observado y reportado para tomar

las medidas correctivas del caso y evitar un corte en el servicio. Estos grupos de patrullaje deben ser distribuidos de tal forma que eviten zonas que no sean revisadas, y ser provistos de todos los materiales, maquinarias, elementos de empalmería de fibra necesarios como de una logística adecuada según la zona para enfrentar cualquier eventualidad en la canalización.

- Es importante que el flujo de aire del sistema de ventilación de los equipos sea el suficiente para mantener la temperatura de los módulos del multiplexor especialmente en zonas de clima cálido y a su vez conectados al sistema de protección eléctrico de tal manera de evitar calentamientos y daños en los módulos. Esta ventilación depende totalmente de la cantidad de módulos o tarjetas del equipo.
- Una buena colocación de tierra de los equipos tanto de energía como en transmisión evitan cualquier daño por sobrecarga o por mal conexión de señales.
- La protección de la red DCN debe ser en todas las estaciones a través de canales de microondas ya que en todas las centrales están conectadas para mantener en gestión toda red y evitar en caso de varios

cortes simultáneos en varios enlaces de un sistema, perdidas en la información como el corte del servicio de esta red.

- Los equipos multiplexores deben ser equipados en su máxima configuración, esto significa que tengan la capacidad máxima de operación, para evitar futuras ampliaciones, y el aprovechamiento al máximo de esta red.
  
- Realizar pruebas de los equipos multiplexores por estación en todas las posible redes de configuración (Lineal, anillo, sub-redes), para comprobar la efectividad de los equipos y el procedimiento para realizar estas redes en caso de realizarse los cierres con anillos de la Red Troncal.
  
- Utilizar dentro de los equipos multiplexores todas las tarjetas de protección que puedan presentar dicho equipo a todos los niveles altos de la jerarquía SDH (STM-16, STM-4, STM-1), de esta manera se asegura el correcto funcionamiento y se evita al máximo errores en la transmisión o cortes de servicios, además si es posible dar protección de canales tributarios tanto en línea como en agregado para que el sistema de re-enrutamiento no presente problemas.

- Cada semana una revisión periódica de los equipos multiplexores dando mantenimiento según el manual del fabricante del equipo, como una revisión desde el centro de gestión del correcto funcionamiento de los elementos de red que conforman la Red de la Zona Central del Ecuador.

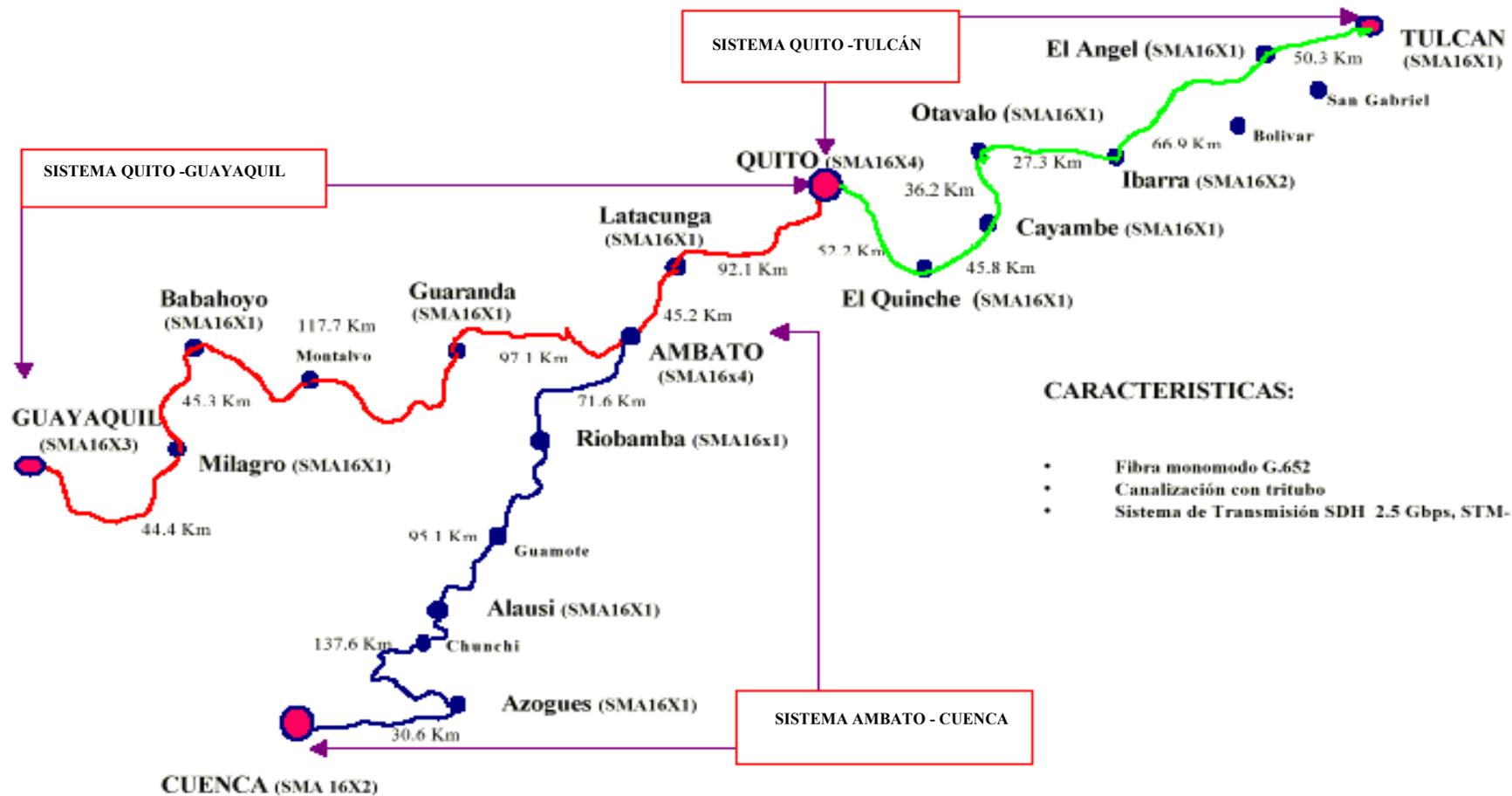


Figura. 4.2. Red Troncal del Ecuador

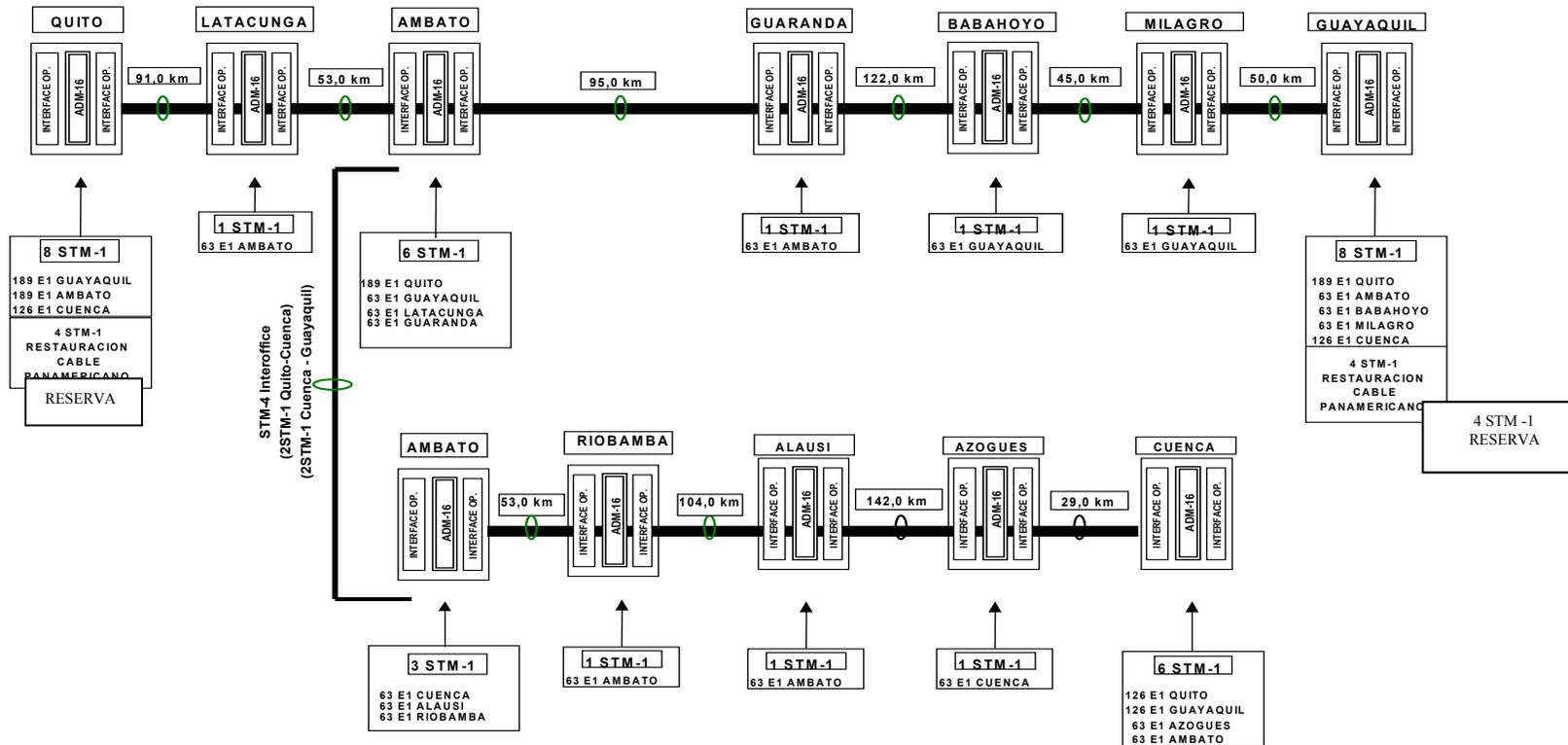


Figura 4.7. Dimensionamiento de Los Multiplexores SDH de los Sistemas Quito - Guayaquil y Ambato - Cuenca



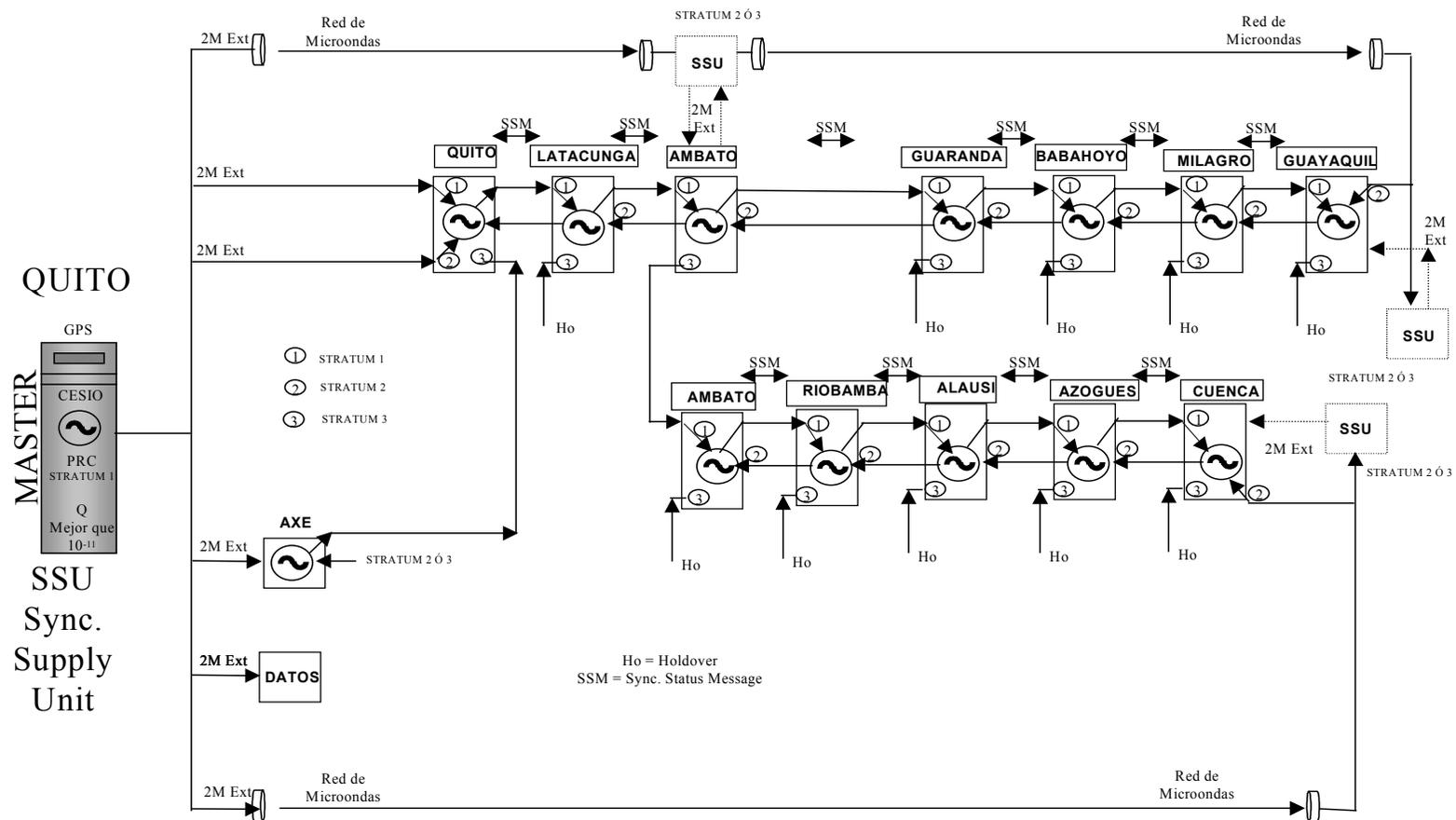


Figura 4.9. Red de Sincronismo de los Sistemas Quito - Guayaquil y Ambato - Cuenca

## **CAPITULO V:**

### **EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACION DE LAS REDES DWDM EN LA ZONA CENTRAL DEL PAIS**

#### **5.1. INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo haremos un estudio técnico, físico y administrativo de la Red de Fibra óptica existente en nuestro País, especialmente en la Zona Central .

En la parte técnica analizaremos los equipos, fibra utilizada, sistemas de gestión, hardware y el sistema de respaldo (back-up); mientras que en la parte física analizaremos los pozos de paso, de empalme, instalación de la fibra urbana e interurbana, excavaciones e instalación de equipos de los bastidores y armarios en las centrales.

También consideraremos a la empresa que administra en el mantenimiento preventivo y correctivo de la red de fibra óptica.

Tomaremos la información del capítulo anterior suministrada por ANDINATEL S.A. para realizar un diagnóstico evaluativo de la red existente, observando sus ventajas y desventajas de la misma; para determinar sus necesidades y ampliaciones futuras para la realización de nuestro diseño.

Con todas estos puntos podemos dar una visión clara y concisa de como se encuentra la Red Troncal de Fibra Óptica instalada en la Zona Central del Ecuador.

## **5.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED TRONCAL DE FIBRA OPTICA EN LA ZONA CENTRAL DEL ECUADOR.**

### **5.2.1. PARTE TÉCNICA.**

Analizaremos la parte técnica en la Zona Central del Ecuador, con sus respectivos enlaces que forman las provincias de dicha zona; los sistemas constituyentes son los siguientes :

Sistema Quito – Guayaquil, conformado por los siguientes enlaces:

Enlace: Quito – Latacunga.

Enlace: Latacunga – Ambato.

Enlace: Ambato – Guaranda.

Sistema Ambato – Cuenca, conformado por los siguientes enlaces:

Enlace: Ambato - Riobamba.

Los sistemas: Quito – Guayaquil y Ambato – Cuenca, encierran a Latacunga, Ambato, Guaranda y Riobamba; faltándonos el Puyo pero en nuestro diseño la tomaremos en cuenta para contemplar todas las ciudades principales de la Zona central del País

En las siguientes tablas se describen aspectos técnicos de los Sistemas antes mencionados; para analizar y detallar lo más principal de la red Troncal de Fibra Óptica instalada en el País.

Tomaremos en cuenta la capacidad, el ancho de banda, la longitud de fibra óptica y equipos instalados, confiabilidad, capacidad futura, sistema de gestión, estándar utilizados en este tipo de redes, la red de respaldo y las aplicaciones; a continuación en la siguientes tablas se detallan todas estas características de la red.

SISTEMA	ENLACE	ESTACIÓN	CAPACIDAD E1	AB (ANCHO BANDA) MBPS	LONGITUD DE FIBRA ÓPTICA INSTALADA (KM)	TIPODE FIBRA USADA	EQUIPOS INSTALADOS	CONFIABILIDAD	CAPACIDAD ADICIONAL Y FUTURAS (E1)
QUITO GUAYAQUIL	QUITO LATACUNGA	QUITO	756	258	96.707	Fibra para ducto Monomodo Tipo estándar de acuerdo a la recomendación UIT – T G.652	Multiplexores ADD/DROP (Inserción-Extracción) ADM-16; SMA 16/4 Series 4 SIEMENS Tecnología SDH con velocidad de línea de 2.5 Gbps (STM -16)	En una configuración anillada los cortes de fibra no afectan el tráfico obteniendo un 99,999% de su disponibilidad	0
		LATACUNGA	63	155					21
	LATACUNGA AMBATO	AMBATO	567	387	47.492				21
	AMBATO GUARANDA	GUARANDA	63	155	101.510				21
AMBATO CUENCA	AMBATO RIOBAMBA	RIOBAMBA	63	155	75.189				21

Tabla 5.1. Características Técnicas de los enlaces de Fibra Óptica de la Zona Central del Ecuador.

<b>SISTEMA DE GESTIÓN</b>	<b>ESTANDAR UTILIZADOS</b>	<b>BACK –UP (RESPALDO)</b>	<b>APLICACIONES</b>
Trabaja con un Sistema TNMS Core ( Sistema Administrador de Redes de Telecomunicaciones) adaptado para 2 subredes DCN (Data Communication Network) es decir un DCN interno y otro externo.	Utilizan las recomendaciones de la ITU – T relativa a los sistemas SDH (Están detalladas en el Capítulo II ). Entre las principales están la G.703, G. 707, G 784, G.803, G.811, G.813,G.826, G.831, entre otros	Para tener una red altamente confiable, está dispone de Rutas Alternas de DCN (Protección canal de datos) a través de canales de 2 Mbps vía la red troncal de microondas de ANDINATEL en las rutas Quito – Tulcán, Quito – Guayaquil y Quito –Cuenca.	Las aplicaciones principales a través de la red como son: telefonía básica, red de transporte para telefonía celular, datos, Internet, redes corporativas; además tiene servicios de banda ancha (archivos, educación a distancia, universidades, paquetes de información y video.)

Tabla 5.1. Características Técnicas de los enlaces de Fibra Óptica de la Zona Central del Ecuador.  
(Segunda Parte).

De acuerdo a las tablas anteriores y lo expuesto en el Capítulo IV de la Infraestructura Técnica de la Red Troncal de Fibra Óptica (RTFO); instalada en la Zona Central de nuestro país podemos detallar:

Que esta red troncal de fibra óptica se lo ha realizado en un tipo de Red Lineal ó Multipunto; donde cursa información entre 2 estaciones o terminales, en nuestro caso a las ciudades por donde pasa la fibra óptica.

Operan en la Jerarquía Digital Síncrona con velocidades de línea de 2.5 Gbps STM – 16; utilizando como medio de transmisión el cable de fibra óptica para ducto, fibra monomodo G.652, que es considerada fibra óptica convencional porque presenta una dispersión cromática; este tipo de fibra está diseñada para sistemas OC-48 ( de 2,5 Gbps ). De momento estas fibras aparecen como la tecnología de medio de transmisión idóneo para DWDM como una forma de evitar efectos no lineales indeseables al mismo tiempo que se obtienen elevadas velocidades de transmisión y una clara potencialidad para aumentar esas velocidades de transmisión.

La configuración de esta red se basa en la matriz de circuitos y de tributarios; es decir la cantidad de puertos que tienen en cada estación como podemos ver en la tabla 5.1. la capacidad de E1 y su capacidad adicional.

Hay que acotar que no se utilizan todos los puertos que están colocados en las estaciones por ejemplo en la ciudad de Quito que es la matriz están 756 puertos usados y distribuidos para los demás nodos así 189 para la estación de Ambato y 189 para Guayaquil, además 126 para la Estación de Cuenca; quedando de reserva 252 E1 ( ó 4 STM -1), en cambio en la estación de Ambato tienen 567 puertos y se usan apenas 378 que se distribuyen de la siguiente manera: 63 E1 para la estación de Latacunga, Guayaquil, Guaranda, Cuenca , Alausí y Riobamba respectivamente; quedando de reserva 189

puertos libres con 21 adicionales debido a que se realizará en corto tiempo una ampliación de esta red para formar un solo anillo óptico en todo nuestro país.

Entonces para nuestro diseño es muy importante esta información para saber de que estación saldría la fibra óptica, en este caso sale de la estación de Ambato para la ciudad del Puyo; pudiendo usar unos 62 E1 para tener un ancho de banda parejo en todas las Estaciones o quizás mayores tributarios debido a la demanda que se puede usar en el Oriente Ecuatoriano tal vez para el uso de empresas petroleras o Multinacionales que trabajan en esta zona de nuestro país.

Los equipos de transmisión SDH están conformados por multiplexores de inserción – extracción ADM – 1/ ADM – 4 y ADM 16 que tienen la capacidad de insertar o extraer señales de 2 Mbps instalados en todas las estaciones de la red; estos multiplexores tienen la capacidad de ser integrados a sistemas de mayor capacidad por medio de multiplexaje por longitud de onda (DWDM) o utilizar la nueva jerarquía SDH de 10 Gbps (STM – 64 ).

Además estos equipos tienen la capacidad de comunicación de puertos de 2.048 Mbps, 155 Mbps y 622 Mbps.

Los equipos ADM – 1 / ADM – 4 y ADM - 16 son capaces de aceptar la telecarga de software o aplicaciones de software sin afectar el tráfico; tienen una memoria no volátil capaz de almacenar la configuración , asignaciones de transconexión, composición de los límites parámetros de alarma, etc.

En la tabla siguiente indicamos el número de interfaces que se pueden dar en este tipos de multiplexores usados en la Red Troncal de Fibra Óptica.

<b>INTERFAZ</b>	<b>STM -16</b>	<b>OP STM - 4</b>	<b>OP STM - 1</b>	<b>ETR STM -1</b>	<b>2,048 Mbps</b>	<b>ETR 34 Mbps</b>	<b>ETR 45 Mbps</b>	<b>ETR 140 Mbps</b>
ADM -1 / ADM - 4	0	5	16	16	63	9	9	12
ADM- 16	4	16	64	64	378	24	24	64

Tabla 5.2. Interfaces de los ADM – 1 / ADM – 4 y ADM – 16

Las siglas OP significa Óptico y ETR Eléctrico.

Como observamos en la tabla 5.2. las interfaces son mayores para los ADM – 16 porque estos serán usados cuando se haga la ampliación de la red no solo en la parte de planta externa sino también en la parte interna, es decir aumentado el ancho de banda para ofrecer mayores aplicaciones.

Todas las interfaces tienen una protección (1+1) de tipo MSP (Multiplex Section Protection); es decir tienen un sistema auxiliar que si se daña una interfaz de cualquier ADM este tiene un respaldo o guardaespaldas en caso de daño, hasta poder cambiar por otra tarjeta con su respectiva protección.

Otro punto importante que debemos analizar es el sistema de sincronismo que se usa en esta red; ubicando los relojes: el reloj principal que se encuentra en la estación de Quito, en las estaciones terminales y los relojes de los equipos multiplexores; los cuales tienen 3 estratos o estados de los relojes, que son: la señal de sincronismo de mejor calidad es el estrato 1 el cual se sincroniza entre las estaciones por el SSM (Sync. Status Message) Mensaje de Estado de Sincronización; pero en caso que la señal del PRC (Primary Reference Clock) Reloj de Referencia Primario falle el equipo adquiere la segunda prioridad de sincronismo, que es la señal que proviene del SSU (Synchronization Supplí Unit)

la Unidad de Suministro de sincronización de las estaciones terminales o del sincronismo de Red de Microonda siendo ésta de Estrato 2 ó 3.

Y como última prioridad de sincronismo se tiene la señal de reloj obtenida de la central AXE cuya calidad es menor a la del SSU de Estrato 2 ó 3 ; pero dada esta señal la cual es muy baja, se usa entonces el holdover cuya función es de mantener o continuar en un estado cuando se pierde la referencia externa del reloj interno u oscilador local.

Como podemos determinar toda la red tiene un sincronismo bien determinado, en caso de que se dañe el reloj principal tiene otros sistemas de sincronismo auxiliar y en último de los casos tiene otro respaldo del sistema AXE; pero de baja calidad pero con holdover podemos mantener el nivel de estrato o de estado en toda la red; hasta realizar nuevamente la sincronización o tener un estrato ideal en el sistema.

También tiene un sistema de gestión denominado Sistema TNMS Core (Sistema Administrador de Redes de Telecomunicaciones); cuya función principal es de supervisar y gestionar todos los elementos de la red; este sistema funciona en configuración active / standby es decir, cuando uno falla (activo) la red pasará a ser gestionada automáticamente por el sistema de reserva; utilizando esta red tiene una capacidad de reconocer hasta 250 elementos de red.

Este sistema es capaz de cambiar de versiones de software para su mejoramiento y garantizándose estas operaciones sin causar problemas en la red ni en el servicio.

Tienen 2 redes DCN (Data Communication Network) Redes de Comunicaciones de Datos uno interno y otra externo; el primero establece la comunicación con cada uno de los multiplexores , mientras que la externa esta conformada con enrutadores CISCO y elementos localizados en las estaciones con canales de 2 Mbps para tener la Red de Respaldo.

Para tener un DCN altamente confiable, se tiene un sistema de respaldo de Microondas que funciona cuando se presenta un corte en cualquier parte del sistema y reenviando la información de los enlaces intermedios de tal manera de no perder la comunicación de todo el sistema.

En relación a la capacidad de la fibra óptica instalada tiene 1008 E1 que pueden ser ampliable mientras que en microondas presentan 138 E1 que tienen una amplitud limitada.

Con todas estas características tenemos una red de fibra óptica totalmente fiable en un 99,999% de su disponibilidad.

### **5.2.2. PARTE FÍSICA.**

En la parte física analizaremos los aspectos de planta externa que detallaremos en la tabla 5.3; donde consideramos la canalización tanto urbana como interurbana, distancia de la fibra óptica instalada en los enlaces, en las centrales, en sus pozos de paso y de empalme; se tomará en cuenta todas las características que mencionaremos más adelante para llevar a cabo este proyecto por las carreteras de nuestro país, especialmente en la Zona Central del País.

SISTEMA	ENLACE	CANALIZACION (Km)		POZOS DE PASO		POZOS DE EMPALME		NUMERO DE BOBINAS		DIST. DE FIB OPT. INSTALADA (Km)	DIST. DE FIB. OPT. EN LAS CENTRALES (Km)
		URB	INTURB	URB	INTURB	URB	INTURB	URB	INTURB		
QUITO GUAYAQUIL	QUITO LATACUNGA	22.143	69.959	10	102	6	18	6	18	92.072	4.635
	LATACUNGA AMBATO	18.609	26.621	24	36	5	7	5	7	45.23	2.262
	AMBATO GUARANDA	8.081	89.050	6	132	2	23	2	23	97.131	4.379
AMBATO CUENCA	AMBATO RIOBAMBA	10.426	61.183	18	90	3	16	3	16	71.609	3.580
	TOTAL	59.259	246.813	58	360	16	64	16	64	306.042	14.856

Tabla 5.3. Características Físicas de los enlaces de Fibra Óptica de la Zona Central del Ecuador.

En las tabla anterior y lo expuesto en el capítulo IV; consideraremos algunos aspectos, de la parte física de la Red Troncal de Fibra Óptica instalada en la Zona Central del Ecuador.

Para la construcción del Proyecto en planta Externa se ha instalado fibra óptica del tipo monomodo G.652 a lo largo de las carreteras de nuestro país, en forma subterránea , mediante la protección mecánica de un triducto de polietileno a una profundidad que oscila entre 0.60 y 1.20 metros en los tramos interurbanos. En las ciudades la fibra óptica se ha instalado por medio de subductos de la canalizaciones existentes.

Como podemos observar en la tabla 5.3, representan las distancias de las canalizaciones dentro y fuera de la ciudad de cada enlace; incluyendo la distancia de la fibra óptica para su instalación en las centrales, en los ODF, sus bastidores y rejillas; de las cuales hablaremos más adelante.

Hay un triducto, donde un ducto alberga la fibra óptica, el segundo ducto se utiliza en caso de necesidad de ampliación y el tercero se utiliza para mantenimiento, es decir si es necesario realizar un mantenimiento específico en el ducto donde se encuentra la fibra óptica se utiliza este temporalmente hasta que se terminen las tareas de mantenimiento.

Además se recomienda la instalación de triducto puesto que la realización de una obra civil de esta magnitud tiene un costo elevado, pues habiéndose realizado una excavación se puede colocar un biducto o triducto en lugar de colocar solo un monoducto, y posteriormente realizar nuevamente la excavación si se quiere ubicar otro ducto, lo cual implicaría un costo elevado.

Las cámaras que se usan en la canalización interurbana son mucho más pequeñas que las que existen en la urbana, puesto que su costo sería elevadísimo, y además solo esta destinada para el uso de la fibra óptica.

Las cámaras se dividen en cámaras de paso y de empalme. Las cámaras son las mismas, lo que varía es el uso que se les da, las cámaras de paso sirven

para ayuda en el tendido de la fibra óptica, mientras que las de empalme son donde se realizará el empalme de dos bobinas de cable de fibra óptica

En las cámaras de paso se realiza un emplazamiento de cámaras en gabinete, tomando en cuenta que debe haber un máximo de 600 metros entre dos cámaras consecutivas para poder tender el cable adecuadamente, además existen puntos específicos donde se necesitan cámaras como son, a los extremos de los puentes se deben colocar cámaras ya que los puentes son lugares vulnerables a desastres naturales, manifestaciones, etc. Y por lo tanto se presenta a menudo el caso en el que se debe realizar reparaciones de fibra óptica en los puentes.

También en los cruce transversales de la ruta necesariamente deben tener dos cámaras puesto que ni la canalización ni la fibra óptica pueden realizar un giro de 90 grados.

Mientras que la cámara de empalme se ubican en base a asumir una longitud nominal de una bobina de fibra óptica, y a las reservas de cable que se han de dejar en las cámaras de paso y de empalme, la longitud nominal generalmente es de 4000 metros y en cada cámara de paso se deja una reserva de 15 metros, mientras que en las de empalme, como en los cruces y puentes se dejan 30 metros. Así el porcentaje de reserva en relación a la longitud de la bobina es menor al 5%, que es lo recomendado en redes de este tipo.

Las reservas se dejan por precaución en caso de tener un corte de fibra se desecha la fibra dañada, se toma esta reserva y se hace un nuevo empalme.

Así la ubicación de la cámara de empalme es muy importante ya que algún error podría provocar la falta de cable e implicaría un empalme adicional; mientras que las cámaras de paso se pueden mover, añadir o quitar a conveniencia.

Para atravesar la canalización urbana ya habiendo realizado el relevamiento urbano y determinado la vía a seguir, debe ser subductada, es decir dentro del ducto escogido se introducen sub ductos, estos son de Polietileno expandido de alta densidad P.E.A.D., un ducto de canalización urbana puede albergar 3 subductos PEAD, y a su vez uno de estos recibirá el cable de fibra óptica. Los otros dos se utilizarán el segundo en caso de necesidad de ampliación y el tercero para casos de mantenimiento.

En cambio para la canalización interurbana la instalación de la canalización se realiza en su mayoría a una profundidad de 1.20 metros de la superficie, en el fondo de la zanja se coloca una cama de arena de 5 centímetros, luego se coloca el tritubo y sobre este se coloca otra capa de arena de 5 centímetros por último se tapa la zanja compactando en capas de 30 centímetros como máximo.

Luego de recorrer la ciudad por la canalización urbana existente el cable de fibra óptica debe recorrer la central hasta llegar al sitio que se destine para la ubicación de los armarios de distribución óptica ODFs (Optical Distribution Frame), este lugar es generalmente el cuarto de transmisiones, se debe realizar un recorrido que empieza en el túnel donde entran y salen los cables telefónicos y termina en el cuarto de transmisiones, se elabora un plano que determina el recorrido de la fibra; e indica por lo tanto la ubicación de las escalerillas sobre las cuales el cable de fibra óptica llegará a su destino, se usan escalerillas nuevas ya que es sumamente importante separar la fibra óptica de los cables de cobre multipar comunes y cables coaxiales, además permite determinar si se debe hacer una obra civil adicional para permitir este acceso del cable de fibra óptica.

El cable de fibra óptica que se instala en las centrales debe ser un cable ignífugo (protegida contra el fuego), ya que en las centrales hay riesgo de incendio. Así el plano determina la ruta a seguir dentro de la central hasta los ODFs, donde se realizan el primer y último empalme respectivamente.

### **5.2.3.PARTE ADMINISTRATIVA.**

En esta parte analizaremos la gestión de mantenimiento preventivo y correctivo de la Red Troncal de Fibra Óptica instalada en la Zona Central del País; mediante la empresa PROSERTEG CIA. LTDA. contratada por ANDINATEL S.A. que realiza este trabajo por el período de un año; pudiendo renovar el contrato.

Tanto el mantenimiento preventivo como correctivo debe considerarse: planta externa, equipos y sistema de gestión de la Red Troncal.

Además se atenderá y solucionará todas las fallas en la Red, sean por daños en la fabricación o instalación , fenómenos naturales, o por acción de terceros.

Esta empresa tiene como prioridad la organización, que debe ser de tal forma que asegure el permanente y buen funcionamiento de la Red Troncal, además garantice restablecer el servicio en el menor tiempo posible cuando se presente algún tipo de emergencia.

La organización más óptima para dar un servicio de mantenimiento esta conformada de la siguiente manera:

- Para el mantenimiento de Equipos y Fibra Óptica:
  - Ingenieros en el Centro de Gestión de disponibilidad las 24 horas.
  - Técnicos especializados distribuidos a lo largo de la Red Troncal de Fibra a disponibilidad las 24 horas
  
- Para medición de características ópticas del enlace :
  - Técnico especializado distribuidos a lo largo de la red Troncal, los mismos que atienden los equipos a disponibilidad las 24 horas.
  
- Vigilancia en la estabilidad de las obras civiles:
  - Cuadrillas de recorrido permanente a disponibilidad las 24 horas, a lo largo de la Red Troncal.

Cada cuadrilla se distribuye en sus recursos técnicos y humanos según la geografía de la zona y de la distancia del enlace. Para este tipo de red se considera que para un enlace de aproximadamente 120 Km se necesita una cuadrilla, y si se tiene dos enlaces consecutivos que su distancia sumada no sea mayor a 120 Km se mantiene con una cuadrilla ambos enlaces.

A pesar de tener una buena organización, se pueden presentar daños o imprevistos en cualquier enlace o en cualquier parte de la infraestructura que pueden afectar o interrumpir el servicio, para lo cual se desarrolla un plan de emergencia para planta externa como un respaldo.

Para resolver en forma rápida y efectiva cualquier corte en el servicio de la Red Troncal, provocado por daños en el cable por cualquier causa, se debe constar con un plan de emergencia para corregir el daño. Se debe tener en cuenta que el tiempo máximo de reparación y puesta de funcionamiento para este tipo de redes es de 9 horas.

El plan de emergencia (Tabla 5.4) consiste en acciones a tomar y procedimientos a seguir de la siguiente manera:

<b>ACCION</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>RECURSOS</b>
Detección de la Emergencia	Ingeniero de turno en el centro de Gestión, detecta el corte de la fibra por medio de alarmas en el equipo de gestión, informando inmediatamente de la emergencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centro de Gestión</li> <li>▪ Ingeniero 24 h.</li> </ul>
Localización del enlace y sitio del daño	El Ingeniero reconoce el enlace afectado se comunica con los Técnicos mas cercanos de las cuadrillas de empalmes y de obra civiles, las cuales realizan el recorrido al sitio del daño. Los técnicos de fibra óptica se dirigen al ODF mas cercano a ellos del enlace afectado, mediante medición con el OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo), determinan las distancia al ODF y el sitio exacto del daño, dando las indicaciones a las cuadrillas que en base a los planos conforme a obra ubican entre que cámaras y la distancia donde se encuentra el daño.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centro de Gestión</li> <li>▪ Medios de Comunicación</li> <li>▪ Planos conforme a obra</li> <li>▪ Técnicos de Mantenimiento</li> </ul>
Destapar cámaras y aislar el cable	Una vez en el daño, se localizan las cámaras a los extremos del daño, se destapan las mismas para recorrer las reservas y si es posible realizar un empalme donde se encuentra el daño, caso contrario se coloca cable de fibra adicional para reponer el servicio hasta realizar la reparación definitiva. Se preparan los cables para empalmar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuadrilla de Obra Civiles</li> <li>▪ Bobina de 2 Km de Fibra Óptica</li> <li>▪ Medios de comunicación</li> <li>▪ Planos conforme a obra</li> </ul>

Elaboración de empalmes en el daño	Las cuadrilla de empalmería debe llegar al sitio del daño, se empalman primero las fibras de servicio, se mide la atenuación del enlace desde los ODF y se repone el servicio en coordinación con el centro de gestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuadrilla de empalmería</li> <li>▪ Medios de comunicación</li> <li>▪ Planos conforma a obra</li> </ul>
Fin de la Emergencia	Una vez que el centro de gestión comunique la normalidad del servicio, se procede a realizar tareas de complementación de la reparación como tapar las zanjas, cámaras y demás para evitar cortes en la fibra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cuadrilla de Obra Civil</li> <li>▪ Centro de Gestión</li> <li>▪ Medios de comunicación</li> </ul>
Registro de reparación	Una vez puesto en servicio se registra los eventos de la reparación, como distancias a la cámara, o cambio de cable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Planos conforme a obra</li> </ul>
Reparación definitiva	Debidamente terminada la emergencia, se planea la recuperación definitiva de la infraestructura afectada, se contratan los recursos adicionales y se repara el daño definitivamente y los cambios realizados en los planos conforme a obra	

Tabla. 5.4. Plan de Emergencia

En caso de presentarse fallas en áreas donde por hechos de fuerza mayor tales como desastres naturales, alteración del orden público y los demás tipificados como de fuerza mayor, impidan el paso de las cuadrillas de mantenimiento se ubicaran estas en las localidades mas cercanas dando aviso de la situación a la Operadora, debiendo si existe vías alternativas acceder por la misma y tratar de alcanzar el sitio afectado. Una vez garantizada la normalidad se procederá a las reparaciones.

### **5.3.DIAGNOSTICO EVALUATIVO.**

En las ciudades, es común la utilización de cables de cobre para llegar al usuario, sin embargo, se tiende a reemplazar los cables grandes de pares de cobre como los de 1800 pares por cables de fibra óptica, lo cual proporciona ventajas como en el manejo propio del cable como peso y tamaño, la fibra óptica es muy recomendable para la conexión de la columna vertebral de las comunicaciones de una ciudad entre sus principales centrales telefónicas.

La tendencia global es que las comunicaciones que se encuentran en el aire bajen a la tierra mediante redes implantadas con fibra óptica, el impulso que se esta dando a este tipo de redes, esta haciendo que los costos que incluyen los

elementos relacionados con la implantación de una red mediante fibra óptica disminuyan y hace a este medio de transmisión sea mas competitivo.

Podemos concluir y acotar con respecto a lo anterior las ventajas claras que tiene la fibra óptica con relación a otros medios de transmisión; la tendencia es ir hacia esta tecnología; nuestro país no puede quedarse al margen con el avance tecnológico, como mencionamos en los items anteriores ya se encuentra instalada la fibra óptica en la Zona Central del País.

Para realizar este diagnóstico tomaremos en cuenta varios aspectos y entre ellos están: la parte administrativa, técnica, comercial, ampliación, seguridad, demanda, modernización ,compatibilidad e interconexión.

En la parte administrativa podemos decir que se encuentra a cargo de una empresa fiable y altamente tecnológica ya que tiene profesionales especializados en el área; tienen una buena organización y planificación ante cualquier fallo o daño externo que se pueda presentar en la Red Troncal, teniendo a su vez un plan de emergencia ya que la reparación se debe realizar en el menor tiempo posible para no perder el enlace con todas las estaciones que conforman a la misma.

En la parte Comercial no se encuentra totalmente explotada ya que la red solo contempla las regiones norte, centro y sur del país; faltándonos la parte este y oeste que son primordiales que tienen una gran demanda comercial y empresarial en nuestro país.

Con lo que respecta a la parte técnica de la red troncal tiene equipos de fabricación SIEMENS en las centrales y los ODF , la parte de respaldo de microondas trabajan con routers de marca CISCO, en general podemos describir que se tienen equipos de alta calidad con tecnología de punta y con todas las protecciones necesarias tanto en la central como en las matrices de la red.

En la parte física como en todos los diseños se pueden observar algunas fallas contempladas en el anteproyecto; es decir en la ruta de los sistemas existen ciudades a las cuales no se ingresan señales multiplexadas como; Salcedo, Machachi, Guamote, Chimbo y San Miguel de Bolívar que son cercanas a las carreteras y la fibra pasan por ellas.

Entre otros aspectos tenemos que decir que la red tienen unas buenas instalaciones en la parte física , pozos , almacenes de mantenimiento preventivo y correctivo cercanos a las estaciones; almacenan toda la información de su funcionamiento a través de un sistema de gestión llamado NTMS, que controla todos los elementos que conforman a la red. Fue desarrollada e implantado en nuestro país mediante la empresa SIEMENS, en fin es un sistema de alta calidad pudiendo ser actualizado su versión e incrementado los elementos, sin causar daños ni interrupciones en el sistema de información.

Podemos hablar que tienen un sistema de seguridad de alta fiabilidad, que los manejen a través del sistema de gestión; donde los sensores se colocan no solo en la planta externa sino también en la interna de la red; en conclusión tiene un buen sistema de alarmas y en caso de fallas técnicas tiene un sistema de respaldo con canales de 2 Mbps para no perder los enlaces con las estaciones.

Este tipo de diseño y construcción con fibra óptica es muy costosa ya que se debe realizar un buen estudio de diseño que debe ser completo y conciso ya que de esta manera se tiene una visión clara de la infraestructura necesaria para el cálculo de costos; minimizando los costos en obras civiles y realizándolos lo más pronto posible ya que una excesiva demora de la construcción producen cambios en el costo ya que en todo momento se realizan obras simultáneas en las carreteras de nuestro país, como en el caso de la carretera Baños – Puyo.

Debemos tomar en cuenta que esta red puede ser ampliable y puede formar un anillo óptico para tener redundancia de información y mantener la red por fibra ya que las protecciones por microondas no tienen la misma capacidad de transmisión de datos; realizando estos anillos faltantes se tendrá acceso a las fibras ópticas de los países vecinos y se podrá conectar el Ecuador a nivel Andino, lo que tenemos de conocimiento es que el nodo óptico que se encuentra en Punta Carnero (Salinas) una vez terminada toda la ampliación permitirá también unir a nuestro país con los países de la costa del Pacífico; y a su vez por estos países a Cables de Fibra óptica Submarinos a niveles Intercontinentales.

Con el cierre de la red troncal a través de los proyectos de ampliación, se podrá lograr una protección a la información y comunicar a todo el país por medio de la fibra óptica, dando mayor capacidad y mayores servicios.

Se puede concluir que la utilización de esta red es en sus inicios es de baja capacidad ya que se utilizan 2 de las 48 fibras del cable, por donde se cursa todo el tráfico presentado en las matrices de los tributarios de la Operadora, lo que en un futuro aumentará con la capacidad, seguridad, bajo costo y confiabilidad que presente esta red estimándose su utilización completa en unos 12 años.

Hasta este momento podemos decir que la red de fibra óptica no está explotada en toda su capacidad .

Otro punto es que en la Operadora ANDINATEL S.A. no hay personal calificado para realizar el diseño y construcción de este y otros tipos de redes de telecomunicaciones; sería necesaria una capacitación y no dar trabajos a terceros, pudiendo realizar el trabajo con los empleados de la empresa.

También se puede observar que la Operadora se encuentra politizada y debería ser descentralizada o tener profesionales relacionados con las Telecomunicaciones a la cabeza para dar mayor prioridad a la parte técnica, física, y tecnológica; obviamente con todas estos parámetros se pueden tener

rubros económicos, servicios de alta calidad, tráfico de información confiable y segura; que servirá como investigación de nuevas tecnologías en las universidades y colegios de nuestro país.

Podemos hacer una relación de costo con otras tecnologías para la comunicación interurbana, esto es por Microonda Digital, Satélite y Fibra Óptica, y comparándolo con el costo de un canal de 64 Kbps para cada sistema como lo indica la tabla 5.5.

<b>SISTEMA</b>	<b>Costo por canal de 64 Kbps</b>	<b>RELACIÓN</b>
Fibra Óptica	US\$ 240,00	1
Microonda	US\$ 1.200,00	5
Enlace Satelital	US\$ 1.800,00	7.5

Tabla 5.5. Comparación de Costos entre la fibra óptica y otras alternativas.

En el cuadro de la tabla 5.5. podemos apreciar la relación existente y el costo que da la fibra óptica con otras tecnologías tan solo para transmitir un canal de voz (64 Kbps); determinándose a está como la mejor opción no solo por su precio sino por sus características técnicas y físicas.

Para concluir, el ancho de banda (AB) de las diferentes estaciones son mínimas con relación a la capacidad total que tiene toda la red; pero a la vez es útil para las aplicaciones que se le da en este momento como es para la telefonía fija y móvil.

Cuando se amplíe y se desee tener más ancho de banda, se tendrá una red de banda ancha con una demanda inmensurable para empresas públicas, privadas, instituciones educativas , multinacionales y otras.

Esto ocurrirá cuando la Operadora instale equipos DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing); siendo sumamente sencillo expandir estas redes

existentes y aumentar la capacidad de transporte, lo cual se traduce en poder brindar más servicios, poder llegar a más clientes y ser más competitivos.

La propuesta de DWDM es sencillamente aumentar la capacidad de la fibra existente, y mantener la tecnología instalada, simplemente es añadir equipos con esta tecnología en puntos estratégicos e inmediatamente tener mucha más capacidad de transporte aun costo accesible, esto permite reducir los costos y brindar la oportunidad de disminuir los precios al usuario de estos servicios.

Con la tecnología que existe actualmente se pueden transmitir información a velocidades de 10 Gbps con 16 diferentes longitudes de onda a través de cada longitud de onda, y esto es una ventana de oportunidades tanto a empresas del sector corporativo como a carriers de volverse más competitivos en sus negocios adoptando esta tecnología y hacer uso de aplicación demandantes de ancho de banda.

Esta tecnología es independiente al protocolo, con lo cual simplifica las comunicaciones de las empresas debido a que todavía se manejan una gran diversidad de éstos.

Con estos puntos podemos decir que DWDM desde la perspectiva técnica y económica da la posibilidad de suministrar potencialmente una capacidad de transmisión ilimitada siendo está la ventaja más obvia de está tecnología; a medida que la demanda cambia se puede añadir más capacidad, ya sea actualizando el equipo o el número de longitudes de onda de la fibra sin costo adicional.

Tomando en cuenta todas las aplicaciones que tiene está tecnología podemos dar una visión que dentro de 10 años en la Zona Central del Ecuador, de acuerdo a la demanda de servicios de telecomunicaciones en el país ya sea en

telefonía fija, móvil, proveedores de Internet; habrá un aumento doble de abonados que se tiene en la actualidad.

La explosión de servicios multimedia y su efecto en los índices de tráfico demandan un incremento en la capacidad de la red, la perspectiva de la red de fibra óptica actual instalada en la Zona Central del Ecuador, tiende a ser una red de banda ancha futura que exige a su vez, que la estructura prevista sea flexible y soporte la introducción de nuevas aplicaciones y tráfico con diferentes formatos.

Se concluye que la factibilidad de ser implementada la tecnología DWDM en la Zona Central del Ecuador, es buena debido a que es una zona industrializada y comercial de alta aplicación y utilización de sistemas de telecomunicaciones; la introducción de la tecnología DWDM está justificada, se muestra como una necesidad para llegar a optimizar el uso de la fibra y llegar con mayor calidad de servicio al usuario final de la red a más de ampliar la capacidad de transmisión del sistema; y sus aplicaciones no solo van al sector industrial o comercial sino también al sector educativo, a los departamentos gubernamentales y sus diferentes dependencias, al sector financiero, y al sector de la salud; obteniendo al mismo tiempo un sitio espejo para contingencias en donde se tiene un respaldo de las bases de datos.

Pero al mismo tiempo como tenemos ventajas tiene algunos inconvenientes ya que no todos los tipos de fibra lo admiten, las tolerancias y ajustes de los láser y filtros son muy críticos y los componentes que utilizan son sumamente caros aunque a pesar de ella la solución es más barata que otras, y por otra parte presentan el problema de la normalización que aún no existe, por lo que no se puede asegurar la compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes, algo en lo que ya está trabajando la UIT – T para lograr una especificación a corto plazo.