

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

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

**“DISEÑO DE UN ENLACE WDM SOBRE LA RED TRONCAL DE  
FIBRA ÓPTICA QUITO-GUAYAQUIL DE ANDINATEL S.A.”**

**REALIZADO POR:  
BYRON HOMERO RAMOS ULLOA**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2005**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado: “Diseño de un enlace WDM sobre la Red Troncal de Fibra Óptica Quito-Guayaquil de ANDINATEL S.A.” Ha sido realizado en su totalidad por el señor Byron Homero Ramos Ulloa con C.I. 171624993-1, bajo nuestra dirección.

---

Ing. Fabián Sáenz

DIRECTOR

---

Ing. Rodrigo Silva

CODIRECTOR

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por ser el centro de mi vida y por haberme dado una familia que me ha guiado en forma espiritual y cognoscitiva durante toda la vida; en cada paso que he dado, especialmente en lo referente a mis estudios.*

*A mi novia que me ha comprendido durante todo este tiempo y que ha estado a mi lado en las buenas y en las malas.*

*Y a los ingenieros Fabián Sáenz y Rodrigo Silva que con sus conocimientos y experiencia hicieron posible la realización de este proyecto.*

Byron R.

## DEDICATORIA

*El presente proyecto de tesis está dedicado a mi madre que con sus consejos ha sabido guiarme por la luz del bien en el caminar de la vida, guiándome a estar junto a Dios en todo lo que me proponga.*

*A mi padre que con su ejemplo me ha dado una lección de lo que es salir a delante trabajando con esfuerzo, siendo recto y honesto.*

*A mi hermano que con su alegría y tolerancia me ha sacado de los momentos triste que he atravesado siendo siempre un amigo.*

*A Daniela que con su amor me ha enseñado que siendo humilde se consiguen grandes cosas.*

Byron R.

## **PRÓLOGO**

El presente proyecto describe el diseño de una red DWDM entre las ciudades de Quito y Guayaquil, utilizando la infraestructura ya existente de ANDINATEL S.A., logrando de esta forma incrementar la capacidad del enlace de 2.5 Gbps (STM-16) a 40 Gbps; permitiendo el mejoramiento en la calidad de los servicios prestados actualmente, e incrementando nuevas aplicaciones de servicios de voz, datos y video.

Se podrá observar que se cumplió los tres objetivos principales de este proyecto que son: Diseñar una red DWDM sobre la fibra actual G.652, a bajo costo y con equipos de última generación existente en el mercado mundial, que garanticen total confiabilidad en el sistema.

El proyecto se lo ha dividido en tres etapas fundamentales, la primera es referente a como esta actualmente implementada la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A., la segunda el estudio y diseño de la red DWDM y finalmente un presupuesto referencial que va a dar una visión mas amplia al proyecto.

Por otro lado para que el diseño de la red DWDM sea completo, se va a dar una referencia de las características técnicas que deberán tener los equipos a ser implementados dentro de la red, tanto en lo referente a equipos Multiplexores y a equipos amplificadores.

Además, se han realizado Bases Técnicas para que pueda ser utilizadas por ANDINATEL S.A., en el caso que está quisiera implementar el proyecto, así va a tener una referencia en lo que puede ser un proyecto de esta naturaleza.

Finalmente, el desarrollo del diseño y estudio ha resaltado y sustentado la importancia que es para una empresa de Telecomunicaciones como lo es ANDINATEL S.A., incrementar la capacidad de su red en el enlace Quito - Guayaquil con una tecnología como lo es la WDM.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.3. SITUACIÓN ACTUAL .....	3
1.3.1. Diagrama General de la Ubicación de la Fibra óptica en el Territorio Ecuatoriano.....	3
1.4. RED SDH ANDINATEL S.A. ....	5
1.4.1. Canal de servicio en la trama SDH.....	5
1.4.2. Trama SDH.....	5
1.4.3. Encabezado de sección entre multiplexores MSOH.....	6
1.4.4. Multiplexores SDH (ADM).....	7
1.5. SISTEMA DE GESTIÓN.....	9
1.6. POTENCIAS UTILIZADAS EN LOS EQUIPOS ACTUALES.....	13
1.7. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA RED SDH DE ANDINATEL S.A. ....	14
1.8. INDICADORES .....	15
1.8.1. Mes Diciembre 2004 .....	15
1.8.2. Mes Abril 2005 .....	17
1.8.3. Mes Julio 2005 .....	21
1.9. ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA .....	23
1.9.1. Sala de Equipos de Quito .....	23
1.9.2. Sala de Equipos de Ambato.....	24
1.9.3. Sala de Equipos de Guayaquil.....	25
1.10. ANÁLISIS SISTEMA CLIMATIZACIÓN .....	26
1.11. ANÁLISIS SISTEMA ENERGÍA .....	27
1.12. ITU-T G.652 CARACTERÍSTICAS CABLE F.O MONOMODO.....	29
1.12.1 Cuadro de Valores Recomendados.....	29
1.13. CONCLUSIONES DE LA RED ACTUAL.....	33
CAPÍTULO II TECNOLOGÍA WDM.....	34
2.1. INTRODUCCIÓN.....	34
2.2. REDES ÓPTICAS.....	35
2.3. FIBRA ÓPTICA .....	36
2.3.1. Evolución de la Transmisión por Fibra Óptica.....	37
2.3.2. Cable de Fibra Óptica.....	38
2.4. TEORÍA DE LA MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA.....	39
2.4.1. Características Técnicas .....	41
2.5. DWDM (MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA) .....	43
2.5.1. Historia .....	43
2.5.2. Definición .....	43
2.6. CWDM (COARSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX) .....	49
2.7. TOPOLOGÍAS Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA WDM .....	51

2.7.1. Topología punto a punto.....	51
2.7.2. Topología en Anillo.....	52
2.7.3. Topología combinada .....	54
2.8. MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES .....	56
2.8.1. Técnicas para Multiplexar y Demultiplexar .....	57
2.9. DENSIDAD DE CANALES .....	59
2.10. SEPARACIÓN DE CANALES ÓPTICOS.....	61
2.11. RELACIÓN SEÑAL A RUIDO ÓPTICA .....	61
2.12. REPETIDORES .....	63
2.13. AMPLIFICADORES ÓPTICOS.....	63
2.13.1. Amplificador de Fibra Dopada de Erblio (EDFA) .....	64
2.14. OADM (OPTICAL ADD/DROP MULTIPLEXER) .....	65
2.15. MEDIDA DE DESEMPEÑO .....	67
2.16. VENTAJAS WDM.....	68
2.17. EL FUTURO DE WDM.....	69
2.18. LIMITANTES DE UN SISTEMA ÓPTICO.....	70
2.18.1. Efectos Lineales.....	70
2.18.1.1 Atenuación.....	70
2.18.1.2. Dispersión.....	71
2.18.2. Efectos no Lineales.....	72
CAPÍTULO III DISEÑO DE LA RED WDM.....	74
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA .....	75
3.1.1. Canales a Utilizarse y Número Longitudes de Onda.....	77
3.2. GRÁFICAS OTDR .....	80
3.2.1. Enlace Quito-Ambato .....	82
3.2.2. Enlace Ambato-Guaranda.....	84
3.2.3. Enlace Guayaquil-Babahoyo .....	85
3.3. CÁLCULO DE ATENUACIONES .....	87
3.4. DESIGNACIÓN DE FIBRAS OSCURAS .....	88
3.5. TOPOLOGÍA ESQUEMÁTICA DE LA RED .....	89
3.5.1. Configuración de la Red.....	89
3.5.2. Características de la Red.....	89
3.6. CONDICIONES TÉCNICAS DE LA RED .....	90
3.6.1. Tipos de Interfaces.....	91
3.6.2. Acceso al Overhead.....	92
3.6.3. Protección de Tráfico.....	92
3.6.4. Protección de Equipo y Tarjetas.....	93
3.6.5. Sistema de sincronización .....	93
3.6.6. Funciones de Administración y Control.....	94
3.6.7. Arquitectura del Sistema .....	95
3.6.8. Modularidad de las Tarjetas .....	95
3.6.9. Temperatura de Operación .....	96
3.6.10. Mantenimiento, Supervisión y Diagnóstico .....	96
3.7. SISTEMA DE GESTIÓN REMOTO Y CENTRALIZADO (TMN) .....	96
3.7.1. Interfaz Gráfica de Usuario .....	97
3.7.2. Funciones de Gestión de Configuración.....	98
3.7.3. Funciones de Gestión de Desempeño.....	99
3.7.4. Funciones de Gestión de Seguridad .....	99
3.8. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA RED.....	100
3.9. LISTADO DE EQUIPOS A UTILIZARSE.....	102



CAPÍTULO IV ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	103
4.1. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL SISTEMA DWDM.....	107
4.2. ESPECIFICACIONES RELACIONADAS CON LA ITU-T.....	108
4.2.1. Aspectos de arquitectura.....	108
4.2.2. Estructura y Mapeamiento.....	108
4.2.3. Características Funcionales.....	108
4.2.4. Aspectos de Manejo.....	108
4.2.5. Desempeño de Error.....	109
4.2.6. Aspectos de la Capa Física.....	109
4.3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DWDM.....	109
4.4. SISTEMA DE PROTECCIÓN DWDM.....	110
4.4.1. Protección de la Red DWDM.....	110
4.4.2. Protección de Hardware DWDM.....	111
4.5. INTERFACES Y TARJETAS DWDM.....	111
4.6. FEC (CORRECCIÓN DE ERROR DIRECTA).....	113
4.7. PRESUPUESTO ÓPTICO Y AMPLIFICACIÓN ÓPTICA.....	113
4.8. AMPLIFICADORES ÓPTICOS.....	113
4.9. COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA.....	114
4.10. SISTEMA DE MANEJO DE LA RED DWDM.....	115
4.10.1. Características Generales del Sistema NMS.....	115
4.10.2. Licencia.....	115
4.10.3. Manejo de las Capas.....	116
4.10.4. Referencias y Estándares.....	116
4.10.5. Recomendaciones Ópticas de Manejo de la Red.....	117
4.10.6. Manejo de Interfaces.....	117
4.10.7. Interfaz Gráfica para el Usuario.....	117
4.10.8. Funciones Gráficas del Usuario.....	118
4.10.9. Configuraciones de Protección.....	119
4.10.10. Manejo de Cross conexiones.....	119
4.10.11. Localización de Alarmas.....	119
4.10.12. Colores de las Alarmas.....	119
4.10.13. Despliegue de las alarmas.....	120
4.10.14. Manejo de Seguridad.....	120
4.10.15. DCN (Canal de Comunicación de Datos).....	121
4.11. SURPASS HIT 7500 3.X.....	121
CAPÍTULO V PRESUPUESTO REFERENCIAL.....	127
5.1. EQUIPOS MANEJO DWDM Y SISTEMA DE GESTION.....	129
5.2. INFRAESTRUCTURA, SISTEMA DE ENEGÍA Y CLIMATIZACIÓN.....	130
5.3. EQUIPOS MANEJO SDH.....	131
5.4. BASES TÉCNICAS.....	132
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
6.1. CONCLUSIONES.....	147
6.2. RECOMENDACIONES.....	150
REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS.....	152
ANEXOS.....	154
ANEXO 1.....	154
ANEXO 2.....	156
ANEXO 3.....	158
ÍNDICE DE FIGURAS.....	160
ÍNDICE DE TABLAS.....	163



## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Hoy en día las redes de alta velocidad que utilizan como medio de transmisión la fibra óptica, se ven limitadas en su ancho de banda y su velocidad, por la tecnología que se aplica sobre ella para transportar información (voz, datos, video, etc. ). Un ejemplo de red de alta velocidad es una red SDH (Jerarquía Digital Síncrona), la cual hoy es muy utilizada por las grandes empresas de nuestro país, por las prestaciones que brinda, por la garantía que ofrece, y por que no se necesita utilizar códigos de corrección de errores para tener la información de un lugar a otro. Con este tipo de tecnología podemos encontrar en el mercado equipos multiplexores de hasta 10 Gbps (STM-64).

La red de ANDINATEL S.A. es una red SDH con una capacidad de 2.5 Gbps (STM-16) la cuál está en funcionamiento desde el 2003, es una red de alta velocidad que da el transporte de la información a la mayoría de ciudades del país, la cuál abarca desde Tulcán, pasando por Quito, Ambato y se bifurca hacia Cuenca y Guayaquil, esto hablando de manera general. Gracias a su amplia cobertura se ha convertido en la principal Troncal de Fibra óptica a nivel nacional, posicionándose en el mercado de las Telecomunicaciones de una manera sólida.

La Red Troncal de Fibra Óptica (RTFO) de ANDINATEL S.A. ha venido abarcando la mayoría del tráfico de información entre la ciudades de Quito y Guayaquil, utilizados en su mayoría por la compañías de redes celulares tales como: Telecsa y Otecel, esto ha sido el principal factor que ha provocado que la capacidad de servicios entre las ciudades de Quito y Guayaquil se saturen.

Una solución óptima para la demanda de servicios a través de Fibra Óptica es utilizar una técnica, mediante la cual, se emplee de una mejor manera el ancho de banda disponible en el núcleo de la fibra, esta es la llamada Multiplexación por división de Longitud de

Onda por sus siglas en inglés WDM. WDM es una tecnología que como su nombre lo indica, multiplexa las longitudes de haces de luz que viajan a través de la fibra óptica, logrando optimizar el ancho de banda tan necesario en las redes de alta velocidad, así dejando a un lado la tecnología SDH y migrando totalmente a lo que se llama DWDM, que la clase de multiplexación que se utiliza para Redes Troncales de Fibra Óptica en el mundo.

### **1.1. ANTECEDENTES**

Con el transcurso del tiempo la demanda de enlaces de alta velocidad se ha incrementado de una manera asombrosa rompiendo todos los cálculos estadísticos de crecimiento, especialmente en el enlace de las ciudades de Quito-Guayaquil. Todos los servicios de alta velocidad y banda ancha son contratados por proveedores de Internet, grandes compañías transnacionales que realizan los negocios entre estas dos ciudades y especialmente por las compañías de servicio de telefonía celular. Por todos estos antecedentes y las grandes demandas que ha existido, con la presente infraestructura y la capacidad de los equipos que manejan hasta un STM-16 (2.5 Gbps), ANDINATEL S.A. se ha visto en la necesidad de crear un proyecto que satisfaga las necesidades próximas del mercado y al mismo tiempo no perder clientes por la falta de infraestructura o por falta de calidad del servicio. Esta va a ser una inversión recuperable a corto plazo, dado que como se verá posteriormente, la demanda es muy grande en estos momentos en el país.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La implementación de una red de transporte basada en la tecnología de alta velocidad WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda) entre las ciudades de Quito-Guayaquil es un proyecto de vital importancia para satisfacer las necesidades del mercado actual por parte de ANDINATEL S.A., ya que con esta forma de Multiplexación podemos tener por una sola fibra un ancho de banda al nivel de los TeraBits dependiendo del tipo de Fibra Óptica que se utilice y de la recomendación por parte de la ITU-T a la que se rija, con lo cual ya no debe ser una preocupación la falta de enlaces entre estas dos ciudades.

Como su nombre lo indica, la Multiplexación por división de longitud de onda es una técnica con la cual una red SDH puede migrar a la utilización de cualquier longitud de onda con la cual se este trabajando, esta ventaja hace posible que la red actual SDH entre Quito-Guayaquil pueda fácilmente incorporarse en una red WDM sin problemas.

Cabe recalcar que esta red WDM va hacer una red paralela a la red SDH, por lo que no va a existir corte de tráfico de ningún tipo, ni va a afectar en nada a los trabajos normales que se realiza tanto en el centro de gestión como en las diferentes centrales donde se ubican los demás equipos.

### **1.3. SITUACIÓN ACTUAL**

#### **1.3.1. Diagrama General de la Ubicación de la Fibra óptica en el Territorio Ecuatoriano**

La Fibra Óptica, tendida por parte de ANDINATEL S.A., tiene un rango de cobertura en las siguientes ciudades del Ecuador:

- Tulcán.
- El Ángel.
- Ibarra.
- Otavalo.
- Cayambe.
- El Quinche.
- Quito.
- Latacunga.
- Salcedo.
- Ambato.
- Guaranda.
- Milagro.
- Babahoyo.
- Guayaquil.
- Riobamba.
- Alausí.
- Azoguez.
- Cuenca

Siguiendo la ruta en la sierra por las centrales telefónicas de ANDINATEL S.A., en la costa por las centrales de PACIFICTEL y en Austro por las centrales de ETAPA. A continuación se puede observar en el gráfico I.1 y I.2, cómo esta tendida la Fibra Óptica en el Ecuador.

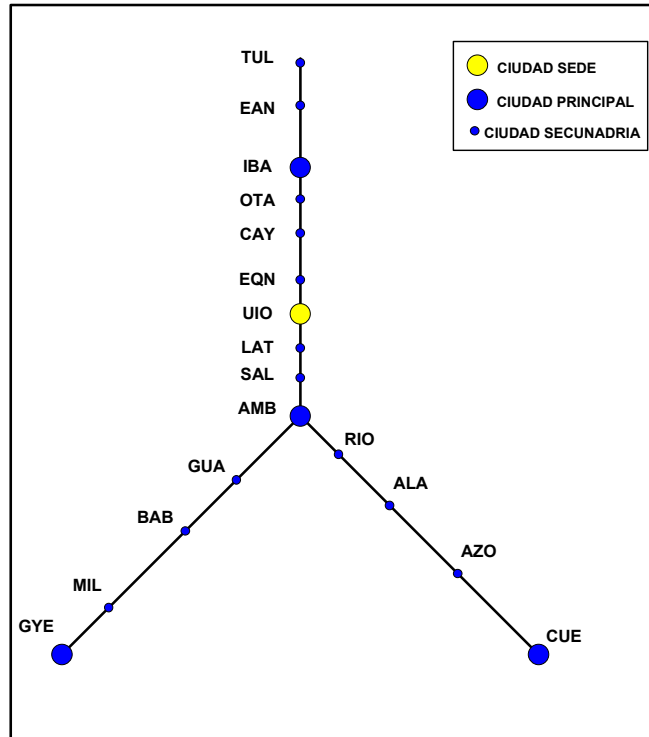


Figura. I.1. Tendido General de la Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.

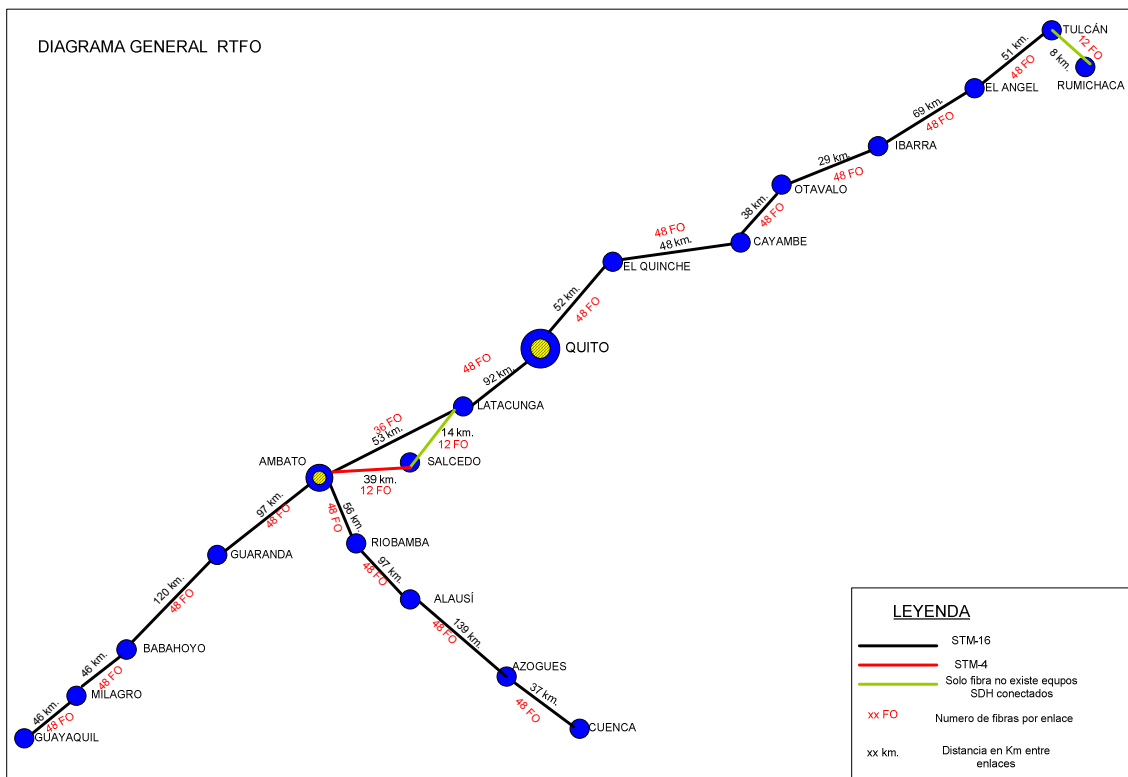


Figura. I.2 Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.

#### **1.4. RED SDH ANDINATEL S.A.**

La red SDH de ANDINATEL S.A. como se pudo observar tiene una topología lineal, por lo cual no tiene protección en anillo, que es lo que caracteriza a las redes SDH, pero tiene otro tipo de protecciones, en las cuales se incluye, protección de tarjetas, protección de fibras, y protección por radio. Esta red SDH esta constituida por 30 elementos de red incluidos 3 que son utilizados para protección, alarmas externas y elementos de la Red de Microonda. Los Multiplexores o elementos de red son de marca Siemens de capacidad STM-16 (2.5 Gbps) y están equipados con tarjetas de acuerdo a la demanda de servicios en las distintas ciudades del país.

Ya se ha visto que la red de ANDINATEL S.A. es una red SDH, y como es característico de la trama SDH, esta tiene canales en donde se puede hacer la gestión del sistema, además de tener canales de voz dentro de la misma, los cuales son utilizados como canales de comunicaciones entre los distintos elementos de red para el uso del personal de la Red Troncal para trabajos que se debe realizar diariamente. La trama SDH se describirá más detalladamente a continuación.

##### **1.4.1. Canal de servicio en la trama SDH**

El canal de servicio que se utiliza en el la red SDH de ANDINATEL S.A., parte de la trama STM-1, en la parte de Multiplexación, en los BITS: B1,K1, K2, D4,D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, Z1, Z2, B2, los cuales son canales de 64 Kbps, lo suficiente como dar servicio de voz y así tan simple se tiene un canal de voz sin necesidad de línea telefónica.

##### **1.4.2. Trama SDH**

El primer nivel de la jerarquía digital sincrónica corresponde a una velocidad de 155.520 kbps y se denomina Módulo de Transporte Sincrónico STM-1. La cadena de multiplexación para llegar al STM-1 se muestra en la Figura I.3. Se puede partir desde

cualquiera de los niveles jerárquicos actuales (el nivel de 8448 kbps se ha descartado) y mediante el armado de tramas sucesivas se llega a STM-1.

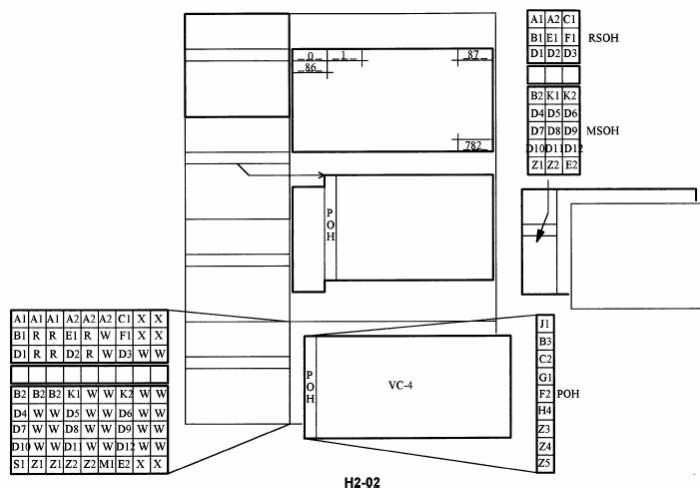


Figura. I.3. Trama STM-1.

### 1.4.3. Encabezado de sección entre multiplexores MSOH

- **B2** 3 Bytes. Paridad par del tipo BIP-24 para el monitoreo de errores entre terminales
- **K1/K2** 2 Bytes. Son usados para la comunicación entre sistemas de conmutación automática (protección por redundancia). Para los enlaces de microondas se aplican los Bytes Y. En STM-N solo es usado en el primer STM-1 para llevar K1/K2. Su contenido es:
  - **BBBB** 4 bits. Lleva el requerimiento de conmutación (indica el tipo de conmutación entre las posibilidades: forzada; con alta o baja prioridad; falta de señal; señal degradada).
  - **EEEE** 4 bits. Indica el número del canal colocado en la reserva 0, 1,.. 14, extra.
  - **SSSS** 4 bits. Identifica al estado de la reserva.
  - 1 bit. Indica el código de camino corto o largo.
  - **TTT** 3 bits. Lleva Alarmas remotas de *Sección Multiplexor*: MS-AIS:111 y MS-FERF:110. Estas alarmas remotas indican que el extremo distante recibe AIS o tiene alarma grave (FERF).



- **D4/D12** 9 Bytes. Canal de comunicación de datos entre terminales (DCCM a 576 kbps) para conexión de la red de gestión TMN. Normalmente los canales DCCR y DDCM se utilizan por separado para el transporte de datos de supervisión.
- **S1** 1 Byte. se aplica para el estado de sincronización (ITU-T G.811, G.812 local o G.812 tránsito, calidad desconocida y no usar para sincronización). Los bits RRRR se encuentran reservados.
- **Z1,Z2** 4 Bytes. Reservados sin aplicación actual.
- **M1** 1 Byte. Propuesto para la secuencia (RRRR FEBE); donde los bits FEBE llevan información del número de errores en base al Byte B2.
- **E2** 1 Byte. Canal de servicio entre terminales multiplexores. Se trata de un canal orderwire a 64 kbps con codificación PCM.

#### 1.4.4. Multiplexores SDH (ADM)

Los multiplexores utilizados en la Red Troncal de Fibra Óptica, son de igual manera marca Siemens, llamados SMA's por sus siglas en inglés (Synchronus Multiplexor Add/Droop), que son simplemente multiplexores de Adición/extracción, utilizados en todas las redes SDH, y tiene una capacidad de hasta STM-16 (2.5 Gbps).

Estos multiplexores están constituidos por varios tipos de tarjetas, tanto ópticas como eléctricas, las cuales pueden ser de línea o de tributario, llámese de línea a aquellas que transportan gran cantidad de información y tributarios a aquellas que se les entrega ya al cliente a partir de un E1 (2.048 Mbps).

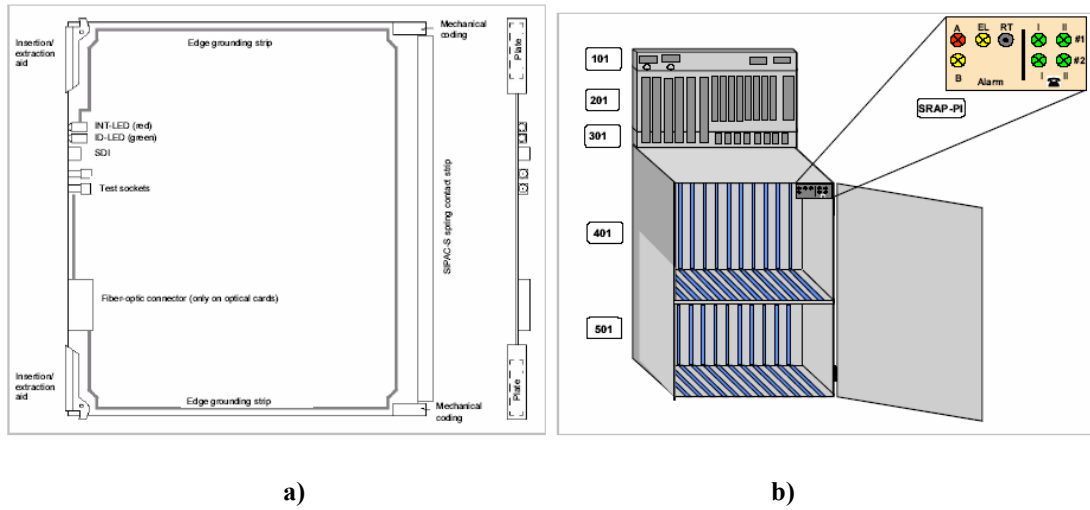


Figura. I.4. a) Tarjeta ADM, b) Subrack ADM

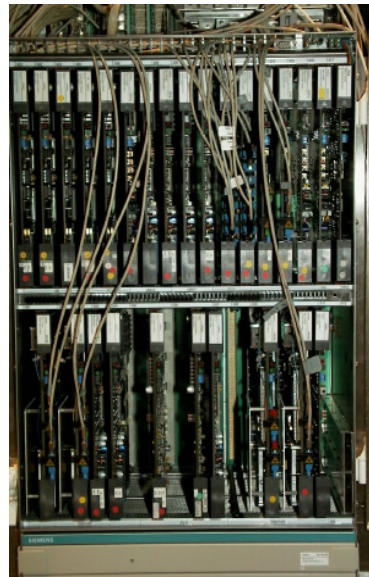
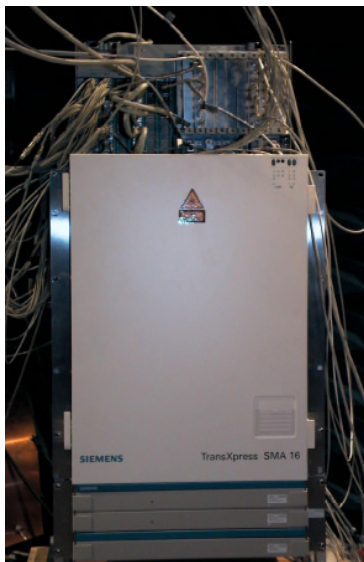
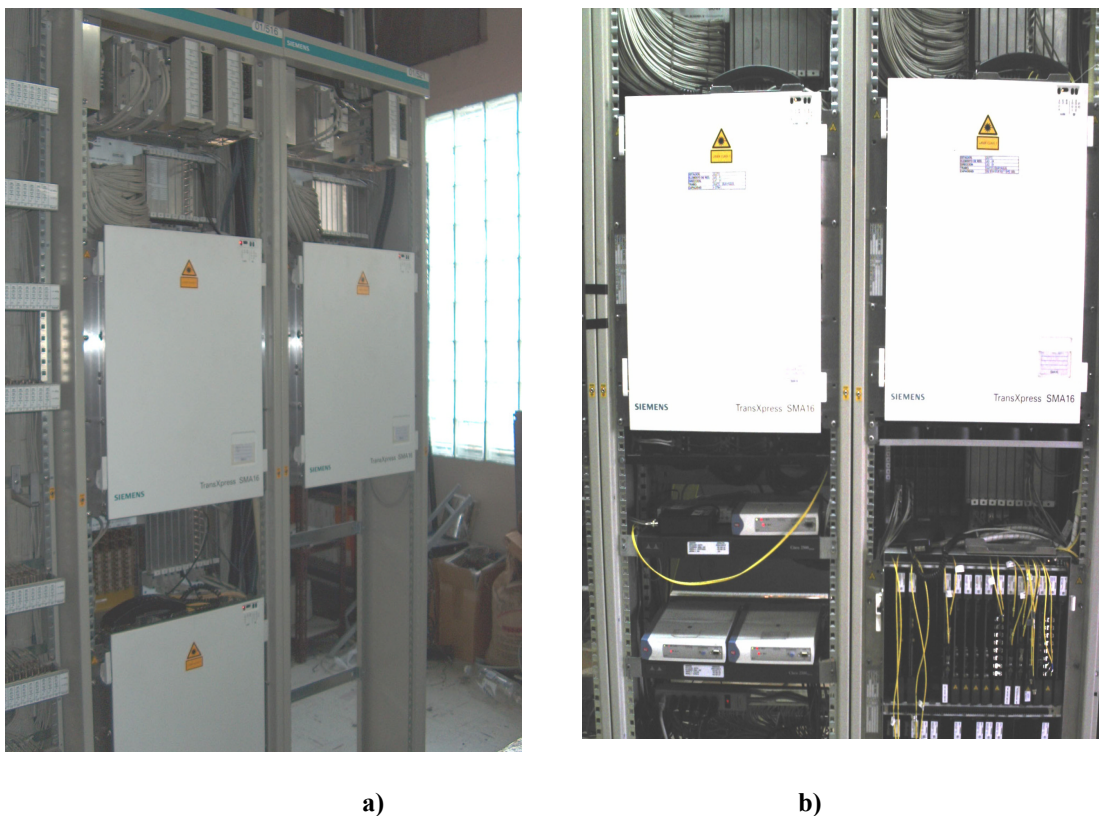


Figura. I.5. ADM parte exterior e interior.



**Figura. I.6. ADM's Quito-Guayaquil a) ADM GYE, b) ADM UIO**

## 1.5. SISTEMA DE GESTIÓN

Para el sistema de gestión de los equipos multiplexores (ADM), se utiliza el programa Sistema de Manejo de Redes de Telecomunicaciones con sus siglas en inglés TNMS V7.0 (Telecommunication Network Management System), el cuál tiene el control total de los equipos multiplexores, esto incluye: tarjetas, canal de servicio, alarmas externas, bases de datos, servicios, cross-conexions, etc. Este es un sistema de propiedad de la Siemens el cuál viene incluido en la compra de los equipos. El sistema brinda algunas prestaciones y facilita la gestión de toda la red.

Con la ayuda de él se puede detectar cualquier tipo de error que se presente en la red, tanto de conectores, tarjetas y de fibra (Esto solo en la parte de recepción de cada elemento de red). De esta manera se ha convertido en una herramienta indispensable para poder realizar cualquier tipo de trabajo en la red.

La gestión de la red como en un sistema de telecomunicaciones también tiene redundancia a través de radio como una vía alterna para que si se corta la fibra aún pueda existir gestión y no se impida cualquier trabajo emergente.

El sistema de gestión no es más que una pequeña red LAN constituida de un SERVIDOR, NETSERVER, dos CLIENTES y seis ROUTERS, esta red Lan es el cerebro de la gestión, se podría decir que ahí se encuentra la plataforma mediante la cuál se gestiona toda la red.

Es importante saber que los equipos Multiplexores tienen un interfaz ethernet con direcciones N-SAP, y se los puede conectar a la red LAN de centro de gestión, a través de NETSERVER, el cuál tiene dos tarjetas de red para poder unirse tanto a los ADM (Multiplexores de Adición/Extracción) como a los computadores de la red LAN, esto quiere decir que el NETSER hace una especie de acople de direcciones N-SAP a direcciones IP V4.0. La dirección NSAP debe ser definida para cada elemento de red. Debe ser única mundialmente.

Las direcciones NSAP que utiliza Siemens para la Red de ANDINATEL S.A., siguen la norma ISO 6523 ICD donde:

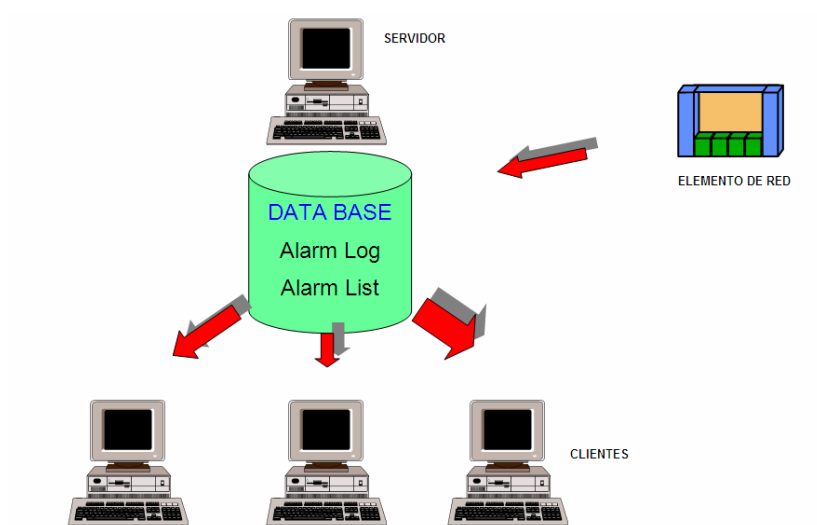
IDP		DSP				
AFI	IDI					
AFI	ISO ICD format	HODSP	Domain ID	System ID	/LAN MAC	NSAP selector
47	0099	657400000	0000000001	080006	1F40EA	01

**Tabla. I.1. Direcciones NSAP utilizadas por Siemens.**

A continuación la definición de las estaciones de trabajo:

1	Servidor	<b>Server01-UIO</b>
2	Netserver	<b>Netserver01-UIO</b>
3	Cliente1	<b>Client01-UIO</b>
3	Cliente2	<b>Client02-UIO</b>
5	Impresora	<b>Printer01-UIO</b>

**Tabla. I.2. Estaciones de Trabajo**



**Figura. I.7. Esquema Centro de Gestión.**



El SERVIDOR, por su parte es el que controla a los clientes en la gestión del sistema y crea bases de datos como respaldo de la red en caso que suceda algún problema en el centro de gestión.

En los CLIENTES, se encuentra la aplicación de TNMS CLIENT para gestionar toda red y donde se puede verificar todo tipo de alarma que se presente en cualquier elemento de la red.

Los ROUTERS, nos sirven para poder llevar la gestión remotamente de una ciudad a otra a través de un radio, tenemos la ventaja de que podemos acceder vía telnet a cada uno de ellos y así configurarlos, si se llegaran a desconfigurar por algún evento de imprevisto.

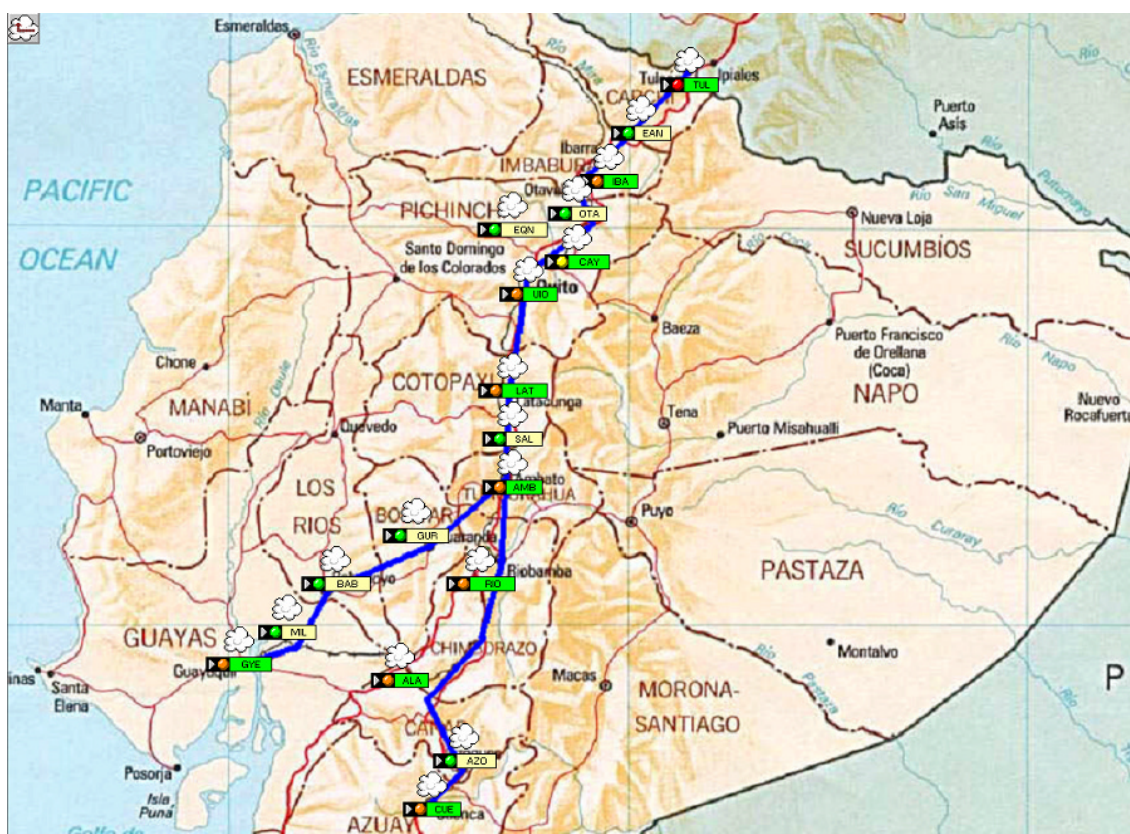


Figura. I.8. Gestión de la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.

### 1.6. POTENCIAS UTILIZADAS EN LOS EQUIPOS ACTUALES

En el gráfico I.9, se pueden observar las distintas potencias en los láser que se utiliza en el trayecto desde Quito a Guayaquil, estas potencias deben regirse al requerimiento técnico de cada fabricante, en este caso se utiliza equipos Siemens, los cuales dependiendo del tipo de tarjeta tienen un máximo de potencia que se le puede alimentar, para prever todo esto, se suele utilizar atenuadores en la entrada de cada tarjeta óptica, para así optimizar todo el sistema, y tener menor probabilidad de fallas.

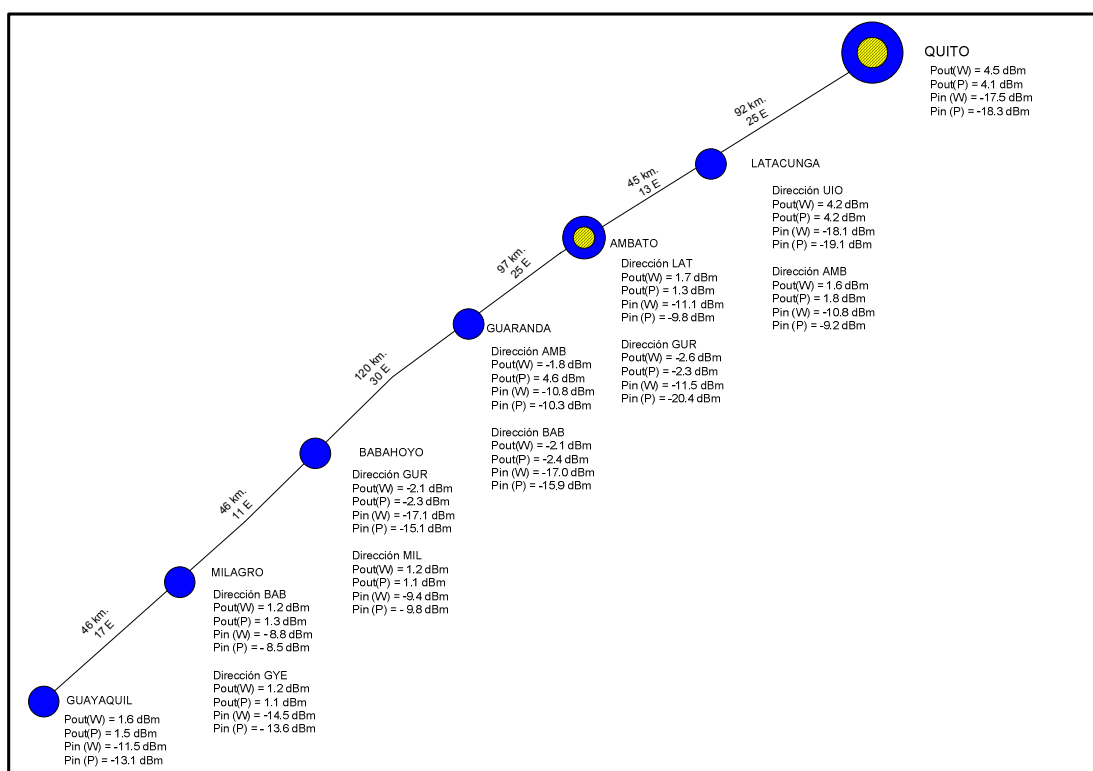


Figura. I.9. Potencias Utilizadas en cada ADM ANDINATEL S.A.

Luego de analizar las potencias de cada elemento de red (ADM), se concluirá si en cada ADM se necesita utilizar ventilación adicional, para que no se produzcan micro cortos en los quipos. De acuerdo al consumo de potencia tenemos la siguiente tabla:

Elemento de Red	Consumo de Potencia	Necesita FAN?	Con FAN?	Temp. Sala	Temp. Equipo	Observaciones
UIO-04	189,3	NO	NO	28.0°C	38.6°C	
UIO-03	189,3	NO	NO	28.0°C	25.5°C	
UIO-02	363,8	SI	SI	28.0°C		Ventilación Normal, pero no le llega directamente al equipo
UIO-01	388,1	SI	SI	28.0°C	38°C	
MIL-01	295,6	NO	SI			Ventilación Normal
LAT-01	327,4	NO	SI	24.0°C	26.7°C	
GYE-03	157,5	NO	NO			
GYE-02	200,8	NO	NO			El aire acondicionado por lo general esta apagado, datos con aire funcionando
GYE-01	372,6	SI	SI			Ventilación Normal
BAB-01	316,6	NO	SI			Presenta mucho calentamiento por falta de ventilación

\* SE NECESITA FAN PARA CONSUMOS MAYORES A 320 DEL NE

**Tabla. I.3. Resumen consumo de Potencia**

## 1.7. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE LA RED SDH DE ANDINATEL S.A.

A continuación se va realizar un análisis general de toda la red actual de ANDINATEL S.A., para saber cuanta es su disponibilidad en lo que se refiere a capacidad de la misma, esto de acuerdo al número de servicios contratados en el mes en cada tramo de la red.

También se va a clasificar a los E1's en datos y voz, para diferenciarlos y tener en mente por que lado esta creciendo la demanda.

Esto es una forma de medir como se va avanzando, tanto en contratos, como trabajos a realizar en el área de la Red Troncal de Fibra Óptica. Básicamente se va a analizar tres mese claves que se han presentado tanto en este año como en el año pasado. Porque son claves, ya que se va a ir viendo de una manera general como ha venido creciendo la demanda de servicios en todo el país.



## **1.8. INDICADORES**

Con los indicadores lo que se va a demostrar es como se ha ido ocupando la capacidad de la red SDH de ANDINATEL S.A., con una perspectiva, primeramente como culminó la capacidad al final del 2004, luego se va a ver un adelanto de lo que fue la capacidad y número de servicios en el mes de Abril del presente año. Y por último, se va a revisar los indicadores del mes de Julio, todo esto para sacar conclusiones valiosas en cada análisis y saber las causas de porque migrar la tecnología SDH a WDM.

### **1.8.1. Mes Diciembre 2004**

En este mes, se puede observar como se ha ido necesitando servicios a lo largo de todo el país en distintos enlaces, se puede concluir, que la capacidad que ofrece la Red Troncal de Fibra Óptica, estuvo nivelado de acuerdo a las estadísticas previstas por analizadores de proyectos de ANDINATEL S.A. el enlace entre Quito-Guayaquil, hasta este mes, no presentaba ninguna novedad, y estaba dentro de los límites preestablecidos de crecimiento y de disponibilidad.

RUTAS	ORIGEN	DESTINO	E1s de Datos	E1s de Voz	Total E1s Migrados	Capacidad Total de E1s	Porcentaje actual utilizado
AMB-ALU	AMBATO	ALAUSI	4	3	7	63	11.11%
AMB-CUE	AMBATO	CUENCA PACIFICTEL	0	0	0	63	0.00
AMB-GUR	AMBATO	GUARANDA	8	6	14	63	22.22%
AMB-GYE	AMBATO	GUAYAQUIL	0	0	0	63	0.00
AMB-LAT	AMBATO	LATACUNGA	9	11	20	63	31.75%
AMB-RIO	AMBATO	RIOBAMBA	14	14	28	63	44.44%
CUE-AZO	CUENCA PACIFICTEL AZOGUES		0	0	0	63	0.00
GYE-BAB	GUAYAQUIL	BABAHOYO	0	0	0	63	0.00
GYE-CUE PAC	GUAYAQUIL	CUENCA PACIFICTEL	2	0	2	63	3.17%
GYE-CUE ETA	GUAYAQUIL	CUENCA ETAPA	0	0	0	63	0.00
GYE-MIL	GUAYAQUIL	MILAGRO	0	0	0	63	0.00
IBA-ELAN	IBARRA	EL ANGEL	1	0	1	63	1.59%
IBAR-QUIN	IBARRA	EL QUINCHE	2	8	10	63	15.87%
IBA-OTA	IBARRA	OTAVALO	8	8	16	63	0.25
IBA-TUL	IBARRA	TULCAN	5	4	9	63	14.29%
UIO-AMB	QUITO	AMBATO	56	47	103	189	0.55
UIO-CAY	QUITO	CAYAMBE	8	6	14	63	22.22%
UIO-IBA	QUITO	IBARRA	36	23	59	126	46.83%
UIO-TUL	QUITO	TULCAN	3	0	3	63	4.76%
UIO-CUE PAC	QUITO	CUENCA PACIFICTEL	5	4	9	63	14.29%
UIO-CUE ETA	QUITO	CUENCA ETAPA	0	2	2	63	3.17%
UIO-GYE	QUITO	GUAYAQUIL	92	63	155	189	82.01%
<b>TOTAL</b>			253	199	452	1701	26.57%
%	RESPECTO AL	TOTAL TRAFICO	55.97%	44.03%	1.00		
%	RESPECTO AL	TOTAL EN RTFO	14.87%	0.12	26.57%	1.00	

**Tabla. I.4.** Ocupación diciembre 2004

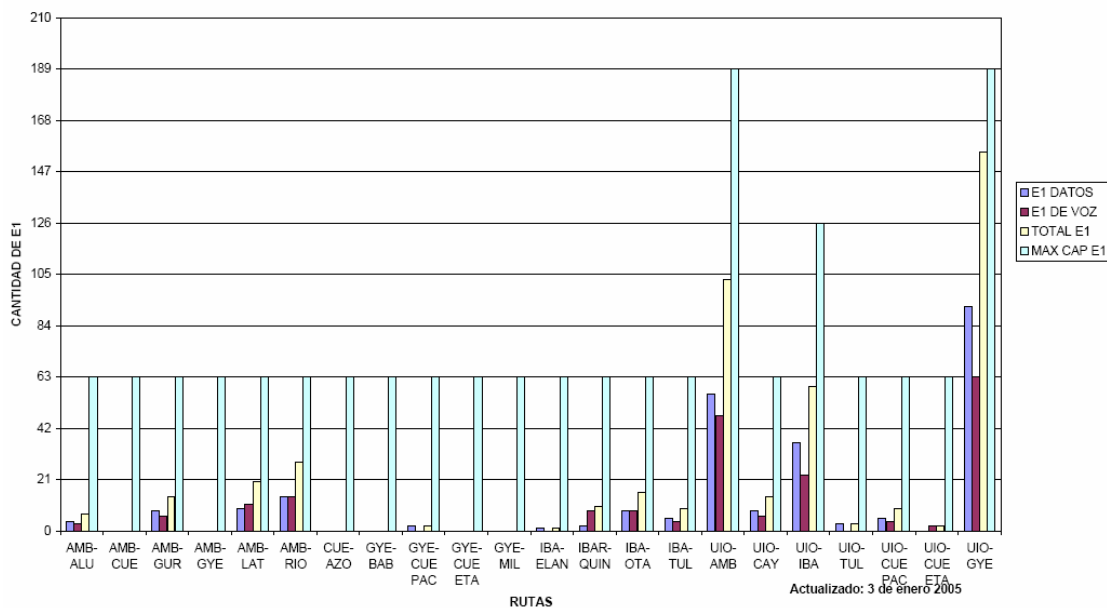


Figura. I.10. Indicadores mes Diciembre 2004

RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA

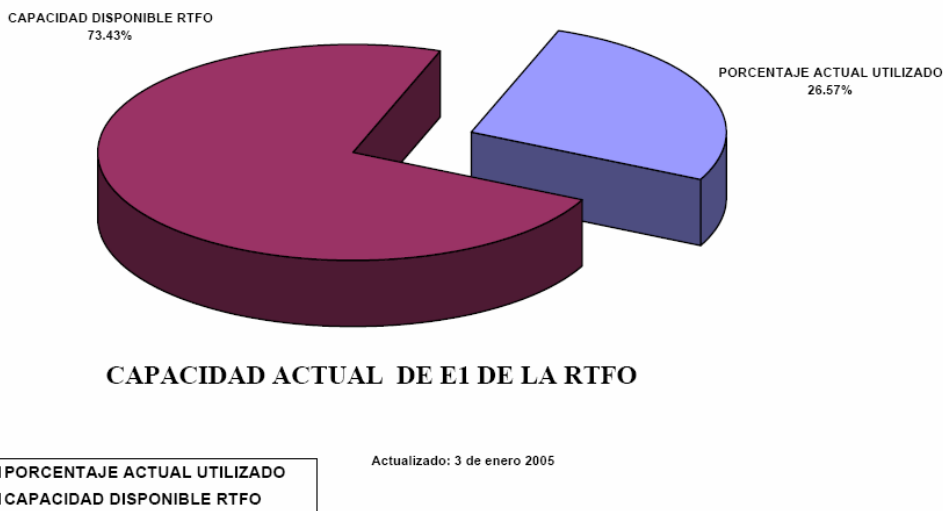


Figura. I.11. Capacidad RTFO Diciembre 2004.

1.8.2. Mes Abril 2005

En este mes se puede observar que en la columna de Porcentaje Actual Utilizado, las celdas de color verde, tienen la particularidad de que no han cambiado bruscamente con respecto a la demanda de los anteriores meses, e inca que aún existe bastante capacidad por

parte de la red troncal, para dar servicio en esos enlaces. Por su parte las celdas que están de color amarillo, son enlaces, en los cuales se indica un grado de precaución, ya que están próximos a llegar al punto de no tener capacidad, para los cuales se deberán tomar medidas preventivas, como son: Reordenamiento de la matriz de Tráfico, Reubicación tarjetas, etc.

Es claro que las celda que están pintadas de color rojo, son enlaces que están a punto de saturarse o que ya se saturaron, como es el caso del enlace Quito-Guayaquil, en donde se podrá observar que su valor es el máximo, o sea el 100 %, en donde se deberán tomar acciones aún más efectivas, que en el caso anterior.

Para completar el entendimiento de lo que esta pasando en el enlace de Quito y Guayaquil, se va a complementar con una gráfica, que indica como está de copado cada enlace en toda la RTFO, y se volverá a observar todos los detalles que se mencionó anteriormente.

RUTAS	ORIGEN	DESTINO	E1s de Datos	E1s de Voz	Total E1s Migrados	Capacidad Total de E1s	Porcentaje actual utilizado
AMB-ALU	AMBATO	ALAUSI	5	3	8	63	12,70%
AMB-CUE	AMBATO	CUENCA PACIFICTEL	0	0	0	63	0,00%
AMB-GUR	AMBATO	GUARANDA	8	17	25	63	39,68%
AMB-GYE	AMBATO	GUAYAQUIL	0	0	0	63	0,00%
AMB-LAT	AMBATO	LATACUNGA	9	11	20	63	31,75%
AMB-RIO	AMBATO	RIOBAMBA	16	14	30	63	47,62%
CUE-AZO	CUENCA PACIFICTEL	AZOGUES	0	0	0	63	0,00%
GYE-BAB	GUAYAQUIL	BABAHOYO	0	0	0	63	0,00%
GYE-CUE PAC	GUAYAQUIL	CUENCA PACIFICTEL	2	0	2	63	3,17%
GYE-CUE ETA	GUAYAQUIL	CUENCA ETAPA	46	0	46	63	73,02%
GYE-MIL	GUAYAQUIL	MILAGRO	0	0	0	63	0,00%
IBA-ELAN	IBARRA	EL ANGEL	1	0	1	63	1,59%
IBAR-QUIN	IBARRA	EL QUINCHE	2	8	10	63	15,87%
IBA-OTA	IBARRA	OTAVALO	8	8	16	63	25,40%
IBA-TUL	IBARRA	TULCAN	8	4	12	63	19,05%
UIO-AMB	QUITO	AMBATO	61	47	108	189	57,14%
UIO-CAY	QUITO	CAYAMBE	8	6	14	63	22,22%
UIO-IBA	QUITO	IBARRA	38	23	61	126	48,41%
UIO-TUL	QUITO	TULCAN	3	0	3	63	4,76%
UIO-CUE PAC	QUITO	CUENCA PACIFICTEL	16	4	20	63	31,75%
UIO-CUE ETA	QUITO	CUENCA ETAPA	2	2	4	63	6,35%
UIO-GYE	QUITO	GUAYAQUIL	126	63	189	189	100,00%
<b>TOTAL</b>			<b>359</b>	<b>210</b>	<b>569</b>	<b>1701</b>	<b>33,45%</b>
%	<b>RESPECTO AL</b>	<b>TOTAL TRAFICO</b>	<b>63,09%</b>	<b>36,91%</b>	<b>100,00%</b>		
%	<b>RESPECTO AL</b>	<b>TOTAL EN RTFO</b>	<b>21,11%</b>	<b>12,35%</b>	<b>33,45%</b>	<b>100,00%</b>	

Tabla. I.5. Ocupación Abril 2005

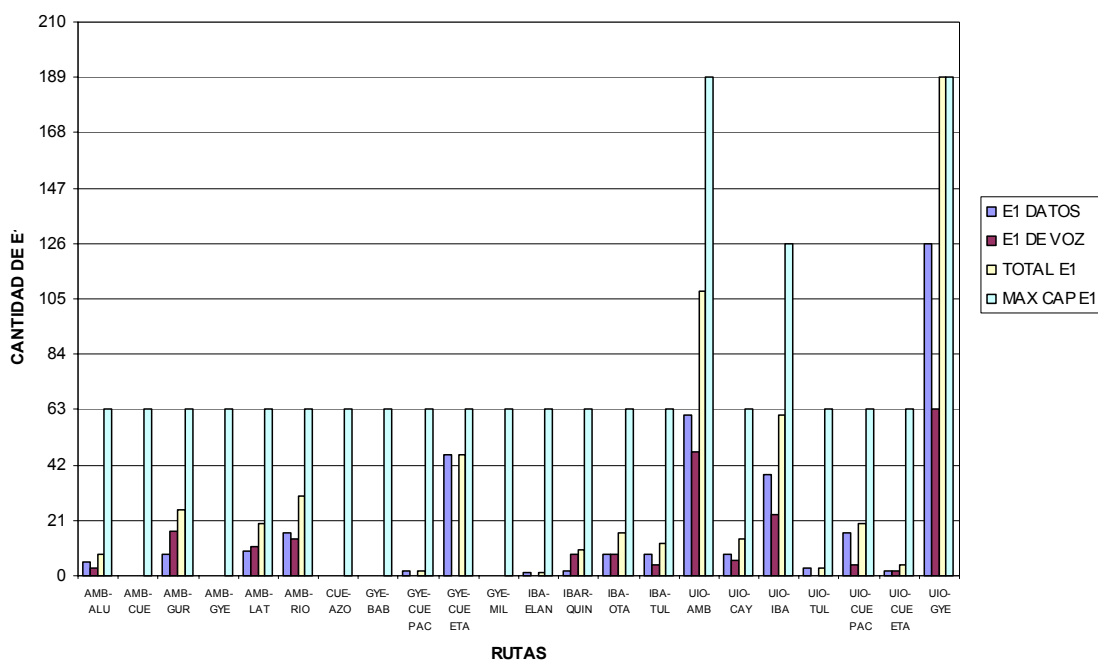


Figura. I.12. Indicadores mes Mayo 2005

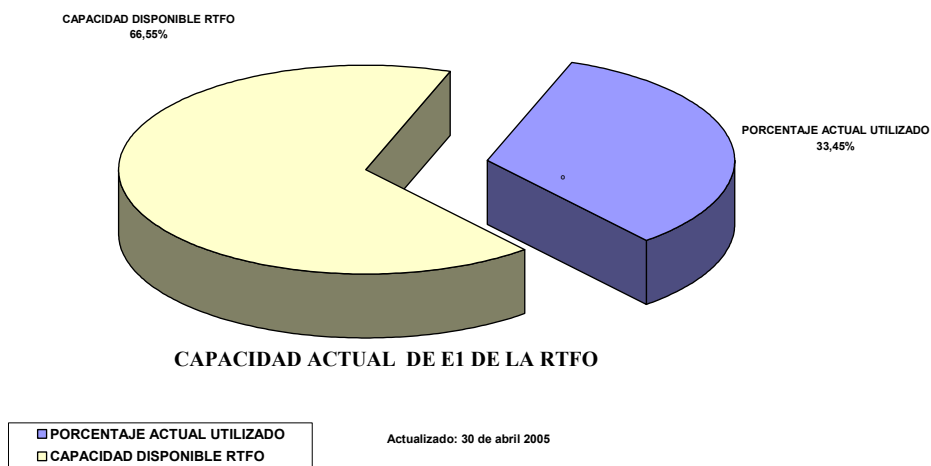


Figura. I.13. Capacidad RTFO Abril 2005

### 1.8.3. Mes Julio 2005

En este mes a diferencia del mes de Abril, se va a apreciar que en el enlace entre Quito y Guayaquil, la disponibilidad ya no está saturada sino que ha disminuido un poco, todo esto gracias a que se reorganizaron varias rutas y servicios, también al aumento de tarjetas y caminos alternos en los servicios. Pero como se sabe la capacidad de incremento de tarjetas es limitado a la capacidad del equipo (ADM), en este caso a STM-16 (2.5 GHz). Con la ayuda del reordenamiento de la matriz de tráfico, se ve una mejora en todos los enlaces, se ha logrado una optimización a lo largo de toda la red. A pesar de los esfuerzos realizados, hay que centrarse en las celdas marcadas en rojo, que como se mencionó anteriormente, son los enlaces que están por saturarse y que necesitan una urgente atención para el aumento de capacidad. En este caso se observa en la Tabla I.6. que los enlaces entre Quito y Guayaquil, se encuentran ocupados mas de las tres cuartas partes de su capacidad total (75 % del total), es aquí donde se va a centrar el estudio de aumento de capacidad para la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.

Para aclarar aún mas la perspectiva que tiene la RTFO en la Figura I.14. se observa cuanta es la capacidad actual de la red a comparación de lo mostrado el año pasado en la Figura I.11.

RUTAS	ORIGEN	DESTINO	E1s de Datos	E1s de Voz	Total E1s Migrados	Capacidad Total de E1s	Porcentaje actual utilizado
AMB-ALU	AMBATO	ALAUSI	5	3	8	63	12,70%
AMB-CUE	AMBATO	CUENCA PACIFICTEL	0	0	0	63	0,00%
AMB-GUR	AMBATO	GUARANDA	8	17	25	42	59,52%
AMB-LAT	AMBATO	LATACUNGA	10	11	21	42	50,00%
AMB-RIO	AMBATO	RIOBAMBA	16	14	30	63	47,62%
AMB-SAL	AMBATO	SALCEDO	6	16	22	84	26,19%
CUE-AZO	CUENCA PACIFICTEL	AZOGUES	0	0	0	63	0,00%
GYE-BAB	GUAYAQUIL	BABAHYO	0	0	0	31	0,00%
GYE-CUE PAC	GUAYAQUIL	CUENCA PACIFICTEL	2	0	2	42	4,76%
GYE-CUE ETA	GUAYAQUIL	CUENCA ETAPA	63	0	63	84	75,00%
GYE-MIL	GUAYAQUIL	MILAGRO	0	0	0	32	0,00%
IBA-ELAN	IBARRA	EL ANGEL	1	0	1	21	4,76%
IBAR-QUIN	IBARRA	EL QUINCHE	2	8	10	63	15,87%
IBA-OTA	IBARRA	OTAVALO	8	8	16	63	25,40%
IBA-TUL	IBARRA	TULCAN	9	4	13	63	20,63%
UIO-AMB	QUITO	AMBATO	71	48	119	189	62,96%
UIO-CAY	QUITO	CAYAMBE	8	6	14	63	22,22%
UIO-IBA	QUITO	IBARRA	39	23	62	126	49,21%
UIO-TUL	QUITO	TULCAN	3	0	3	42	7,14%
UIO-CUE PAC	QUITO	CUENCA PACIFICTEL	16	4	20	42	47,62%
UIO-CUE ETA	QUITO	CUENCA ETAPA	2	2	4	21	19,05%
UIO-GYE	QUITO	GUAYAQUIL	138	63	201	252	79,76%
<b>TOTAL</b>			<b>407</b>	<b>227</b>	<b>634</b>	<b>1554</b>	<b>40,80%</b>
%	<b>RESPECTO AL</b>	<b>TOTAL TRAFICO</b>	<b>64,20%</b>	<b>35,80%</b>	<b>100,00%</b>		
%	<b>RESPECTO AL</b>	<b>TOTAL EN RTFO</b>	<b>26,19%</b>	<b>14,61%</b>	<b>40,80%</b>	<b>100,00%</b>	

Tabla. I.6. Ocupación Julio 2005

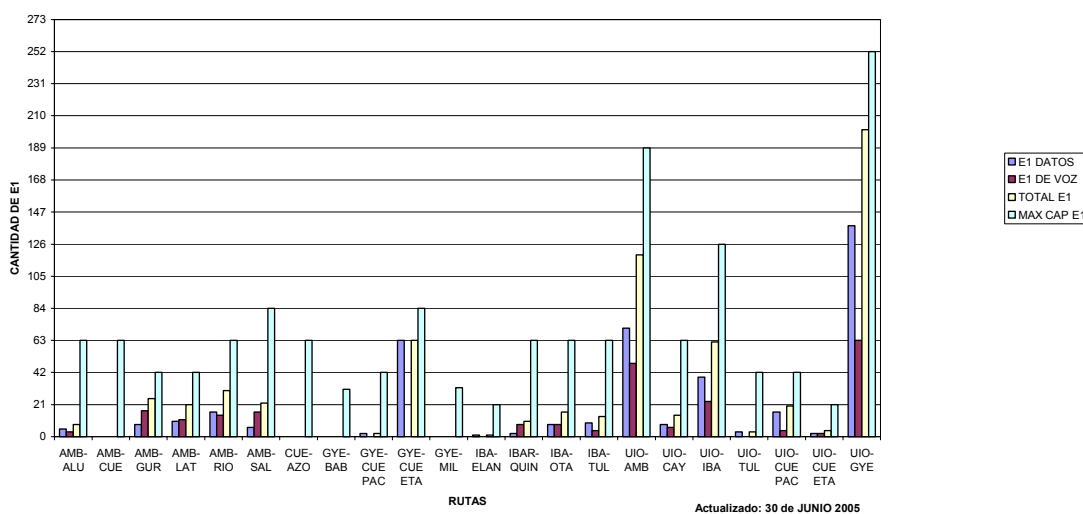
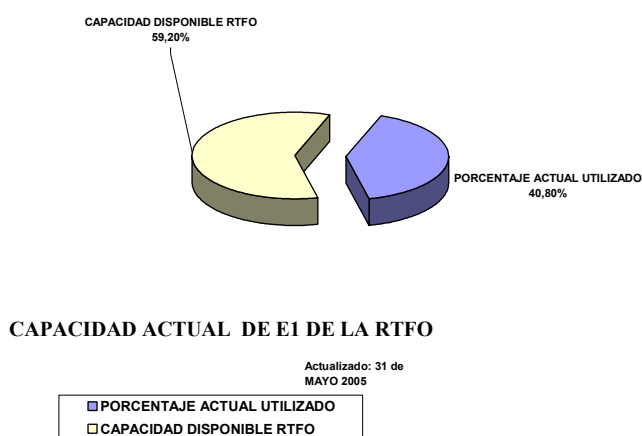


Figura. I.14. Indicadores Julio 2005





**Figura. I.15. Capacidad RTFO Julio 2005**

A través de las comparaciones hechas anteriormente entre los meses de Diciembre 2004, Abril y Julio 2005, podemos notar la gran demanda que ha tenido la Red Troncal de ANDINATEL S.A. en todo el país, se puede decir que fue un crecimiento no previsto, esto hace notar como cada día hay más compañías y gente en el país que necesitan de altas velocidades para poder desarrollar mejor su trabajo.

## 1.9. ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA

En esta sección, se va a analizar tan solo tres puntos de la red actual SDH por parte de ANDINATEL S.A., que son: Quito, Ambato y Guayaquil, ya que en los demás nodos, las salas donde se encuentran los equipos tienen aún mucha capacidad para abarcar equipos destinados a cualquier trabajo.

### 1.9.1. Sala de Equipos de Quito

En la sala de la ciudad de Quito, como se puede observar en la Figura I.16, existe capacidad suficiente como para aumentar equipos de 6 mts de largo y 4 mts de alto, así que es un área lo suficientemente amplia como para incrementar equipos que manejen WDM.

Se nota que dentro del círculo rojo, este espacio físico se encuentra ocupado por equipos ya obsoletos para ANDINATEL S.A., por lo que solo sería de retirarlos de la sala para que ese lugar quede libre para nuevos equipos, en este caso equipos WDM.



**Figura. I.16. Sala Equipos Quito**

### **1.9.2. Sala de Equipos de Ambato**

En la sala de Ambato, sucede algo similar a lo que se da en Quito, ya que se tiene un espacio aproximado de 2 mts cuadrados para el aumento de algún equipo que ANDINATEL S.A. decida ocuparlo, más claramente se lo puede observar en la Figura I.17.



**Figura. I.17. Sala Ambato**

### **1.9.3. Sala de Equipos de Guayaquil**

En la sala de Guayaquil, sucede algo particular, como se conoce este distrito es de propiedad de Pacifictel, por lo que para realizar cualquier tipo de ampliación o adición de equipos, se necesita permiso, lo cuál no sería muy inconveniente, ya que las dos empresas pertenecen al mismo dueño, el Fondo de Solidaridad por lo que solo se requería una carta que se informe de la ejecución de nuevos proyectos.

Para esta sala como se mira en la Figura I.18. También existe la capacidad suficiente como para aumentar otros equipos, en la ejecución de proyectos de ampliación.



**Figura. I.18. Sala Guayaquil.**

## **1.10. ANÁLISIS SISTEMA CLIMATIZACIÓN**

Para el análisis del sistema de climatización, se debe tomar en cuenta que las salas de ANDINATEL S.A. tiene un estándar, en cuanto se refiere al mantener la sala en cierta temperatura, como base se ha tomado la sala de equipos de la ciudad de Quito, para ello se tiene un panel central en el cuál se indica la temperatura de la sala como en la Figura I.19, y los tubos por donde se distribuye el aire se localiza en la parte superior, casi a la altura de techo de la sala y pasa por todas las distribuciones de Racks en las distintas salas.

Como cada equipo debe tener su temperatura y el sistema de climatización se establece a 17° C, los equipos que por su trabajo se calientan demasiado y necesitan aun mas de una mayor capacidad de enfriamiento, tan solo se suele colocar ventiladores externos que ayuden a que no se produzcan fallas en los equipos a causa de micro corto circuitos internos de los equipos.



**Figura. I.19. Equipo de Aire Acondicionado**

### **1.11. ANÁLISIS SISTEMA ENERGÍA**

En todas las centrales en las que se van a implementar equipos con capacidad WDM, se va a tener como primer tipo de alimentación, una etapa de rectificación, como en la Figura I.20 , para garantizarnos la estabilidad del sistema de energía de todo las sala de equipos, en este caso se va a necesitar -48 V, que es lo que los equipos de telecomunicaciones generalmente trabajan, pero lo cual no se necesitaría muchas capacidad de amperaje y como se tiene un consumo de aproximadamente 95 A, y la capacidad de los rectificadores tienen un rango de hasta 150, se estaría al dentro del límite de lo que soportaría los rectificadores.

Como respaldo y para todos los equipos en telecomunicaciones, se tiene una sala de baterías, las cuales soportan toda la capacidad descrita anteriormente, en caso que la alimentación del servicio eléctrico común tenga alguna falla. Para el soporte de todo este sistema existe personal capacitado para solucionar cualquier tipo de problema, en caso de que cualquiera de los sistemas de energía mencionados anteriormente falle.

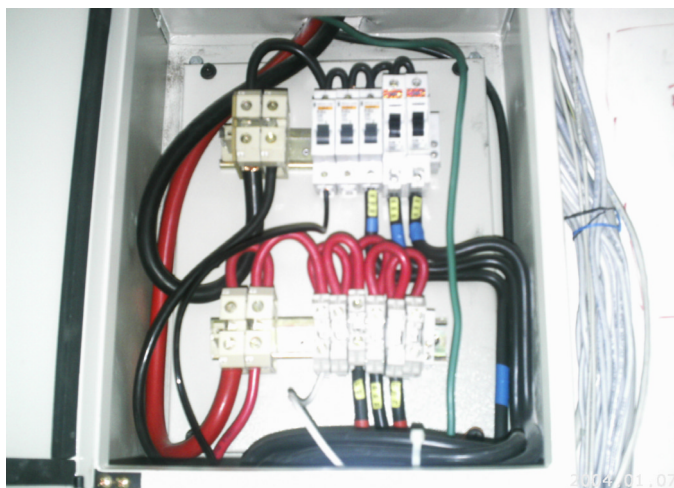




**Figura. I.20. Sala de Rectificadores**



**Figura. I.21. Baterías**



**Figura. I.22. Acometida de los ADMs**

## **1.12. ITU-T G.652 CARACTERISTICAS CABLE F.O MONOMODO**

La recomendación ITU-T G.652 describe las características geométricas y de transmisión de fibras y cables monomodo cuya dispersión cromática y longitud de onda no esté desplazada de la región de longitud de onda de 1310 nm, este es el caso de la fibra adquirida por parte ANDINATEL S.A. Posteriormente se va a presentar cuadros con valores recomendados para distintas subcategorías del cable de fibras a fin de tener una relación dependiendo del tipo de sistema que soportan. La recomendación dice que esta fibra se puede utilizar para transmisión tanto analógica como digital.

### **1.12.1 Cuadro de Valores Recomendados**

Las siguientes tablas, indican valores característicos de este tipo de Fibras Ópticas en diferentes métodos en las que se utilice, ya sea en una red SDH o WDM. Para cada tipo de capacidad tenemos:

La subcategoría de base para un cable de fibra óptica monomodo es adecuada para sistemas de transmisión de hasta STM-16 UIT-T G.957 [5] y UIT-T G.691 [3].		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	
	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km

**Tabla. I.7. Valores Típicos de cable de F.O. de hasta STM-16**



La subcategoría de cable de fibra óptica monomodo es adecuada para los sistemas de transmisión de hasta STM-64 de UIT-T G.957 [5], UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. La dispersión cromática deberá en general acomodarse a sistemas de transmisión de alta velocidad en la región de longitud de onda de 1550 nm.		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota 2)
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo (nota 2)	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA 1 – La longitud de onda superior de esta banda no se ha determinado completamente. Sin embargo, XX es menor o igual a 25 nm.		
NOTA 2 – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD <sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable específica.		

**Tabla. I.8. Valores Típicos de cable de F.O. de hasta STM-64**

La subcategoría de cable de fibra óptica monomodo es adecuada para los sistemas de transmisión de hasta STM-64 de UIT-T G.957 [5], UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. La dispersión cromática deberá en general acomodarse a sistemas de transmisión de alta velocidad en la región de longitud de onda de 1550 nm. Esta subcategoría también permite la transmisión del tipo UIT-T G.957 [5] en partes de la banda comprendida entre 1360 nm y 1530 nm. La dispersión cromática en esta banda ampliada puede imponer limitaciones a la longitud máxima del enlace o hacer necesaria la acomodación.		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\sqrt{0,7}$ $\mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1$ $\mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota 2)
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a yyyy nm (nota 3)	(nota 4)
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

**Tabla. I.9. Valores Típicos de cable de F.O. de hasta STM-64 en diferentes longitudes de onda.**

Como punto importante se debe tomar en cuenta que para una longitud de onda concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando

limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda en funcionamiento y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

Para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras UIT-T G.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. La uniformidad de la dispersión cromática no es por tanto un aspecto de naturaleza funcional.

### **1.13. CONCLUSIONES DE LA RED ACTUAL**

- De acuerdo al mes de Abril, con el enlace entre Quito y Guayaquil, saturado, se decide a más de medidas momentáneas como el reordenamiento de la matriz de tráfico, buscar una solución a futuro, la cuál pueda satisfacer todas las necesidades que los clientes requieran sin restricción.
- Se puede decir que en el análisis del sistema de aire acondicionado como de energía eléctrica y de infraestructura, todos apuntan hacia el mismo camino, que es que no se necesita realizar algún trabajo extra para la implementación de nuevos equipos en las distintas salas de cada ciudad.
- En cuanto al cable de fibra óptica se puede decir que satisface con los requerimientos para implementar la nueva tecnología WDM paralela a la red SDH de ANDINATEL S.A.
- Con las gráficas de capacidad e indicadores, se pudo observar que tan grande es la demanda de servicios de alta velocidad en todo el país, para lo cual se necesita utilizar una tecnología que cumpla con esos requerimientos, esta tecnología se llama WDM.

## CAPÍTULO II

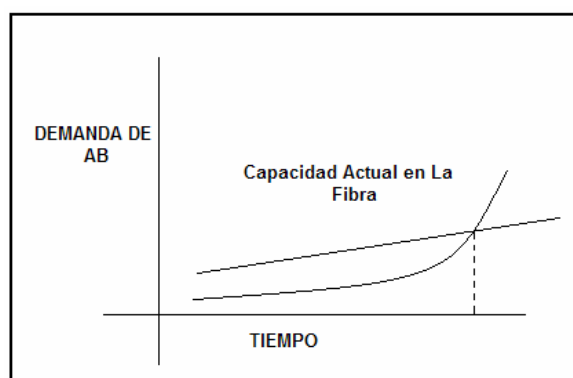
### TECNOLOGÍA WDM

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

Recientemente la demanda de altos anchos de banda ha crecido mucho y continuamente sigue avanzando a una sorprendente velocidad, y la tecnología hoy utilizada por ANDINATEL S.A. no es suficiente para hacer frente a este problema. Tanto la comunicación de voz, y la transferencia de datos necesitan altas tasas de transferencias tales como: video, gráficos de alta resolución y un gran volumen de procesamiento de datos que están limitados por las capacidades que tiene el cobre. Otra razón para la demanda de ancho de banda es que los proveedores de Internet necesitan garantizar redes libres de fallas. Como en los últimos años las telecomunicaciones se han vuelto un punto crítico en los negocios y en general para cada individuo, los proveedores de servicio tienen que garantizar que sus redes sean tolerantes a fallas y que sean confiables a pesar del tiempo de utilización.

Afortunadamente las fibras ópticas tienen alta capacidad de tasa de datos. Los Gbps sobre grandes distancias, han hecho que el uso de la fibra óptica sea indispensable para las redes del futuro y sistemas de comunicación. El amplio uso de la fibra ha sido posible en parte por la aceptación de la industria de tecnología SDH como un estándar de nueva generación. Usando el estándar SDH, las compañías de telecomunicaciones han expandido su capacidad incrementando la tasa de transmisión de datos, como es el caso de ANDINATEL S.A. que tiene una red SDH de 2.5 Gbps (STM-16). Sin embargo el equipo TDM instalado actualmente utiliza menos del uno por ciento de la capacidad intrínseca de la fibra. La capacidad y desempeño de la fibra óptica es mayor dependiendo del tipo de tecnología de modulación. En redes de comunicación óptica los esquemas de modulación pueden estar considerados dentro de los siguientes métodos: multiplexación por longitud de onda, multiplexación por división de tiempo o multiplexación por división de código.

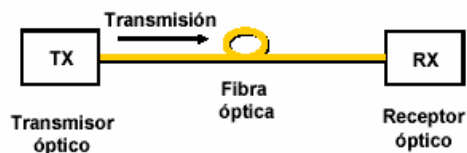
TDM y CDM son menos utilizados que WDM porque en este último no se necesitan algunos de los requerimientos que son indispensables en los usuarios finales, en los anteriores esquemas de modulación. En resumen WDM es la última tecnología desarrollada en sistemas de transmisión óptica. Con WDM los sistemas hoy en día pueden incrementar su capacidad por una sola fibra en 40 Gbps. Esta tecnología cuando se combina con sistemas de gestión de red y multiplexores ADM permiten que los proveedores de Internet y telefonía tanto celular como convencional puedan acceder a anchos de banda con bajos costos a comparación de instalar redes de fibra óptica para sus empresas.



**Figura. II.1. Demanda de Ancho de banda y el cambio Capacidad de la Fibra vs. el tiempo**

## 2.2. REDES ÓPTICAS

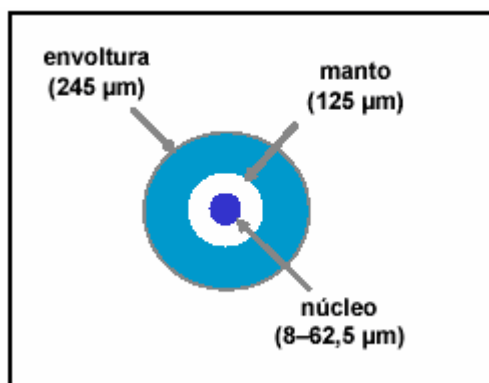
- Las redes ópticas usan pulsos de luz para transmitir datos a través de un cable de fibra óptica.
- Los sistemas de redes ópticas convencionales emplean un par transmisor/receptor óptico por fibra óptica



**Figura. II.2. Red Óptica**

Las redes ópticas típicas emplean “rayos” de luz (creadas por un transmisor óptico) para transmitir bits de datos a través de un cable de fibra óptica hasta un receptor óptico. Se usa una fibra óptica para cada canal óptico. Un par transmisor/receptor constituye un canal. Una sola fibra óptica proporciona el canal óptico. Se necesita otro par transmisor/receptor y otra fibra óptica para la transmisión en la dirección opuesta.

### 2.3. FIBRA ÓPTICA



**Figura. II.3. Configuración Fibra Óptica**

- Una fibra óptica consta de tres partes:
  - El núcleo transporta la señal de luz.
  - El manto mantiene la luz en el núcleo
  - La envoltura protege la fibra
- Las dimensiones de la fibra se miden en  $\mu\text{m}$
- $1 \mu\text{m} = 0,000001$  metros (10-6)
- 1 cabello humano  $\sim 50 \mu\text{m}$
- Índice de refracción ( $n$ )
- $n = c/v$

- $n \sim 1,46$
- $n$  (núcleo)  $>$   $n$  (manto)

### 2.3.1. Evolución de la Transmisión por Fibra Óptica

La transmisión a través de fibra óptica fue promovida experimentalmente en la década de los 90's, pero la tecnología comienza a avanzar rápidamente en la segunda mitad de la década los años 20's con la invención del fibroscópio, el cuál tuvo aplicaciones en la medicina e industria, tal como la cirugía laparoscópica.

Después de la posibilidad de la transmisión de luz sobre una fibra fuera establecida, el próximo paso en el desarrollo de las fibras ópticas era el descubrimiento de fuentes de luz que tuvieran la suficiente potencia y delgadez. El diodo emisor de luz (LED) y el diodo láser cumplían con estos requerimientos, como es de conocimiento general el láser hoy en día es la fuente de luz más usado en la transmisión sobre fibras ópticas.

La luz tiene una capacidad de llevar una información 10 000 veces más grande que las utilizadas en las altas frecuencias de radio. Ventajas adicionales de la fibra en comparación con el cobre incluye la habilidad de trasportar señales sobre largas distancias, bajas tasas de error, inmunidad a interferencias electromagnéticas y seguridad.

El desarrollo en fibras ópticas está ligado al uso de regiones específicas en el espectro óptico donde la atenuación es menor. Estas regiones son llamadas ventanas. Los primeros sistemas fueron diseñados para operar alrededor de los 850 nm, la primera ventana en la fibra óptica. La segunda ventana (Banda S), a 1330 nm, prontamente fue más utilizada por tener baja atenuación, luego viene la tercera ventana (Banda C) a 1550 nm con incluso mucha menos atenuación. Hoy en día, una cuarta ventana (Banda L) cerca de los 1625 nm está siendo desarrollada para ser empleada. Esta cuarta ventana esta representada en el espectro electromagnético en la siguiente figura.

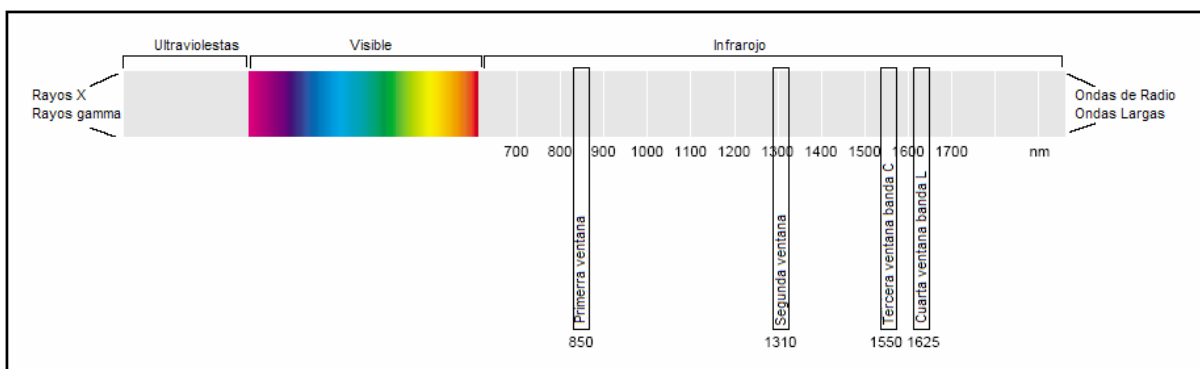


Figura. II.4. Regiones de las Longitudes de onda

### 2.3.2. Cable de Fibra Óptica

Los enlaces de comunicación óptica con WDM permiten el envío simultáneo de diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra dentro de la banda espectral que abarca los 1300 y los 1600 nm, conocida como tercera ventana, como se determinará posteriormente. Conceptualmente, esta forma de multiplexación es similar a FDM (Multiplexación por División de Frecuencia, por sus siglas en inglés), utilizada en sistemas satelitales y de microondas. Mientras que FDM consiste en transmitir varias señales al mismo tiempo a través de un solo canal de banda ancha, modulando primero cada una de ellas en una subportadora distinta y, posteriormente, reuniéndolas para formar una sola señal, WDM reúne diferentes longitudes de onda para formar la señal que se transmitirá.

De manera similar a otras formas de multiplexación, WDM requiere que cada longitud de onda sea debidamente espaciada de las demás, con el objeto de evitar la interferencia intercanal.

A pesar de que esta técnica de multiplexación, utilizada principalmente en redes de fibra óptica, se denomina de manera amplia WDM, es más común escuchar el término convencional DWDM (Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda), el cual, aunque no denota ninguna región de operación o condición de implementación adicional, toma su nombre a partir de una designación de la Unión Internacional de



Telecomunicaciones (UIT) y se refiere únicamente al espaciamiento requerido en la especificación UIT-T G.692.

Si se multiplexan mas de 8 canales, la técnica se llama DWDM (Dense Wavelength division Multiplexing)

Actualmente, DWDM no es vista tan solo como una técnica para ampliar la capacidad de una red de fibra óptica, sino más bien, como una tecnología robusta en el "backbone" de redes multi-servicios y redes de acceso móvil, que permite satisfacer el crecimiento en volumen y complejidad que presentan los servicios de telecomunicaciones.

#### 2.4. TEORÍA DE LA MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA

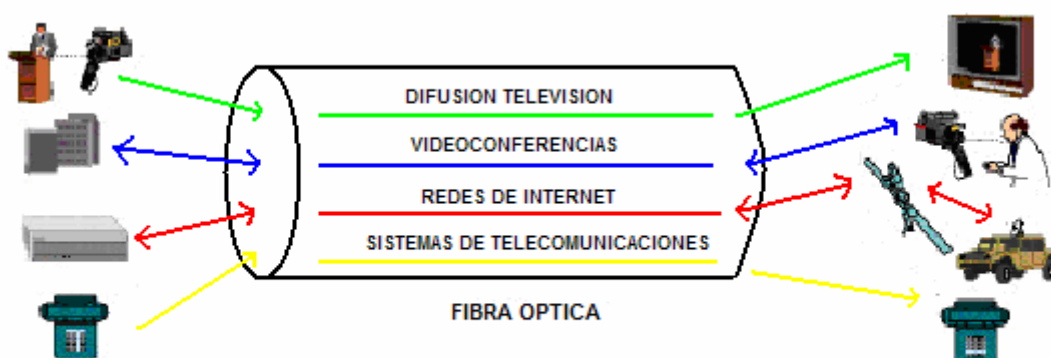
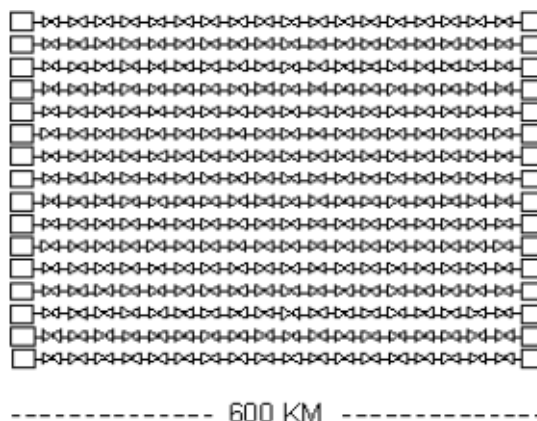


Figura. II.5. Servicios de WDM

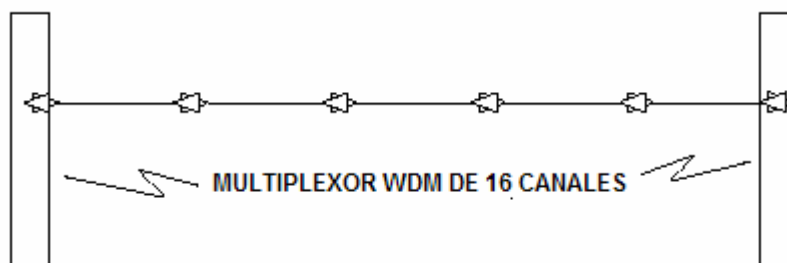
WDM es una tecnología que abarca grandes flujos de información a ser transmitida simultáneamente sobre una simple fibra a tasas de transferencia elevadas. WDM incrementa la capacidad de las redes SDH de hasta 16 veces, pudiendo obtener hasta 40 Gbps en cada dirección sobre un par de fibras ópticas. En WDM, el flujo de la luz láser dentro de la fibra consiste de muchas longitudes de onda cada una llevando canales de datos por separado. En fibras ópticas, la propagación de la luz láser es mejor en las regiones centradas entre 1300 y 1550nm, y el espectro de la longitud de onda usada en WDM se extiende desde 1200 hasta 1600nm.

La tecnología WDM utiliza una composición de señales ópticas, llevando múltiples flujos de información , cada una transmitidos en distintas longitudes de onda ópticas, permitiendo que algunos canales de WDM coexistan en una sola fibra óptica, esto se puede aprovechar dentro de la gran capacidad que ofrece la fibra.



Para transmitir 40 Gb/s en 600 kms usando un sistema tradicional se requeriría 16 pares de fibra por separado con regeneradores cada 35 kms teniendo que colocar un total de 272 regeneradores.

Un sistema WDM de 16 canales, por su parte, usa un solo par de fibras y 4 amplificadores colocados cada 120 kms para la misma distancia de 600 kms.



La forma más común de WDM usa un par de fibras, una para transmisión y otra para recepción. Existen sistemas en donde una sola fibra es usada para tráfico bi-direccional, pero ese tipo de configuración debe sacrificar alguna capacidad de la fibra por la separación que estos necesitan y prevenir la mezcla de canales.

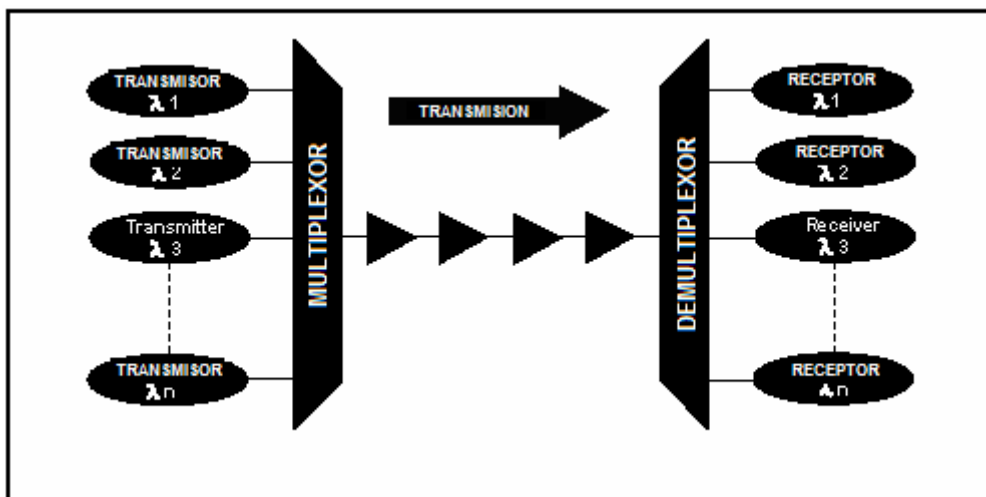


Figura. II.6. Sistema WDM

2.4.1. Características Técnicas

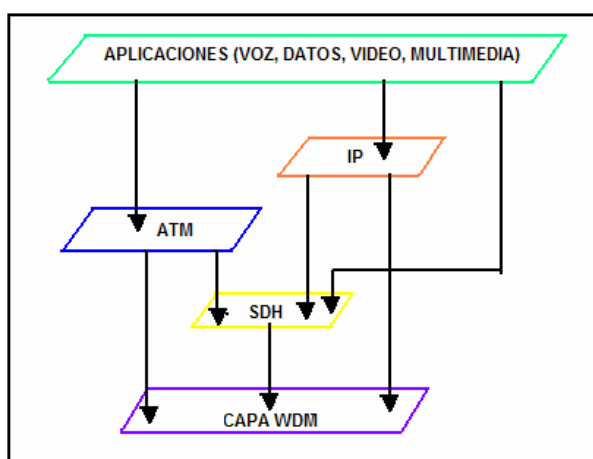


Figura. II.7. Modelo de transporte

Los sistemas de telecomunicaciones que utilizan como medio de transmisión la fibra óptica se basan en inyectar en un extremo de la misma la señal a transmitir (previamente la señal eléctrica procedente del emisor se ha convertido en óptica mediante un LED o Láser y ha modulado una portadora) que llega al extremo receptor, atenuada y, probablemente con alguna distorsión debido a la dispersión cromática propia de la fibra, donde se recibe en un fotodetector, es decodificada y convertida en eléctrica para su lectura por el receptor.

El tipo de modulación y/o codificación que se emplea con los sistemas de fibra óptica depende de una serie de factores, y algunas fuentes de luz se adaptan mejor a unos tipos que a otros. Así, los LED, con un amplio espectro en el haz luminoso, admiten muy bien la modulación en intensidad, mientras que el láser (un haz de luz coherente) se adapta mejor a la modulación en frecuencia y en fase.

En distancias cortas, como es en el entorno de una oficina o redes de área Metropolitana, la atenuación de la fibra y la dispersión, no presenta un gran problema, pero a distancias grandes, como las que se requieren en la RTFO (Red Troncal de Fibra Óptica), realmente es importante el uso de amplificadores o repetidores que regeneren la señal cada cierta distancia. Por ejemplo en los cable de fibra óptica en grandes distancias se colocan repetidores cada 75 km que, primero, convierten la señal óptica degradada en eléctrica, la amplifican y la vuelven a convertir en óptica mediante un diodo láser, para inyectarla de nuevo en la fibra óptica, todo un proceso complejo y que introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos por los que ha de pasar la señal.

Este inconveniente se podría evitar si todo el camino pudiese ser óptico (all-optical), algo que ya es posible gracias a los resultados obtenidos, hace algún tiempo, por investigadores de la Universidad de Southampton, que descubrieron la manera de amplificar una señal óptica en una longitud de onda de 1,55  $\mu\text{m}$  haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud dopada con iones erbio e inyectando en ella una luz de láser a 650  $\text{nm}$  (fenómeno que se conoce como bombeo o pumping).

## **2.5. DWDM (MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA)**

### **2.5.1. Historia**

En la década de los 90 tuvo lugar un increíble crecimiento de la necesidad de la capacidad en las telecomunicaciones, en general en las comunicaciones, tanto al hablar de velocidad como de cobertura geográfica. La transmisión de información digital (Voz, Datos, Telefonía móvil, Internet, etc.), han hecho que el tráfico de la información requiera de medios de transporte de elevada capacidad (ancho de banda). Las fibras ópticas en el campo de las telecomunicaciones se empezaron a aplicar en telefonía de voz, pero en la actualidad están presentes en cualquier sistema de comunicaciones.

El índice de crecimiento en la capacidad de transmisión en las redes exigido por los nuevos servicios de alta velocidad es de forma exponencial y la única tecnología que puede afrontar este crecimiento inimaginable es DWDM.

### **2.5.2. Definición**

Las redes de telecomunicaciones de ANDINATEL S.A. y en general en todo el mundo han tenido un incremento en el tráfico de datos. Redes que aún se encuentran en el país utilizan la multiplexación por división de tiempo (TDM), originalmente inventado para ser la técnica de multiplexado más eficiente para la posible transmisión de voz en una velocidad de 64 Kbps, este tipo de multiplexación ya no es particularmente adecuada para el tráfico de datos de hoy se requiere en el país. Un router o un ATM se pueden conectar a una red de transporte mediante DWDM, como es la necesidad que tiene la red de ANDINATEL S.A., mediante mapeo de paquetes directamente dentro de una longitud de onda sin la intervención del uso de una red SDH. De hecho, un TDM puede ser reemplazado por DWDM, el cual puede incrementar la utilización del ancho de banda, facilitando la red, y reduciendo costo, hablando de una inversión considerable en un principio.

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.

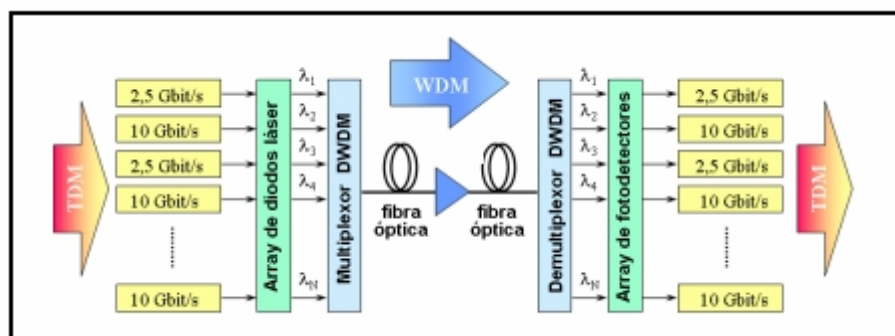


Figura. II.8. Sistema DWDM

DWDM puede completamente eliminar la necesidad de aumentar el número de fibras o de incremento de equipos ADM, lo cual es muy significativo para empresas en este caso ANDINATEL S.A. que tienen problemas de consumo de fibra y saturación en la capacidad de la red. DWDM puede coexistir sin ningún problema con redes SDH. DWDM ha revolucionado la industria de las telecomunicaciones proveyendo de infraestructura para transporte de redes ópticas extensas.

La Multiplexación por división de Longitud de onda, combina más de 64 longitudes de onda dentro de una sola fibra. La tecnología DWDM usa un estándar ITU con espaciamiento entre longitudes de onda de 100 GHz o 200 GHz, esto en un intervalo de las bandas de 1500 a 1600 nm. Con la tecnología DWDM, las longitudes están más unidas comparadas con las de CWDM, obviamente el costo de los Multiplexores es mucho más caro y complejo que los que manejan CWDM. Sin embargo, con DWDM, es mucho más grande ya que podemos utilizar más número de longitudes de onda, y se puede alcanzar mucha más distancia que con CWDM, lo cual es una ventaja muy grande ya que la red que se pretende implementar se trata de largas distancias.



**Figura. II.9. Rangos de espaciamiento para DWDM y CWDM**

WDM (Wave Division Multiplexing) es una solución ideal para enlaces críticos con un alto crecimiento que tienen una necesidad urgente de más ancho de banda, o incorporar nuevos servicios a la red existente. WDM va a ayudar a disminuir la inversión que realice ANDINATEL S.A. y los largos trabajos que se realice al momento de su implementación.

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. Long-haul se refiere a distancias mayores de 100 Km.

Hoy en día existen sistemas que utilizan hasta ochenta longitudes de onda, y en equipos próximos a ser lanzados soportan hasta 160 longitudes de onda, y con mayor capacidad ha sido demostrado en laboratorio. Las longitudes de onda utilizadas para DWDM se ubican en el rango de los 1550 nm, este rango nos permite el uso de la tecnología de amplificadores de erbio dopado EDFA.

Con DWDM las salidas de dos o más terminales SDH son multiplexadas ópticamente en una fibra.

En redes long-haul, la combinación de DWDM y los amplificadores de línea nos brindan una transmisión costo beneficio 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, como es lo que se quiere lograr con la red SDH ya existente de ANDINATEL S.A.

OADM (Optical Add Drop Multiplexer) son básicamente acopladores de DWDM con la capacidad de añadir o entregar lambdas en un punto intermedio de la red

Los sistemas DWDM trasladan la longitud de onda de la salida de equipo 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. 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 SDH donde su encabezado esté basado en estándares.

La ITU-T, 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.

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 longitudes de onda.

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 dentro de una fibra. Existe otra ventana llamada banda L, la cual ha probado ser capaz de transportar 80 longitudes de onda.

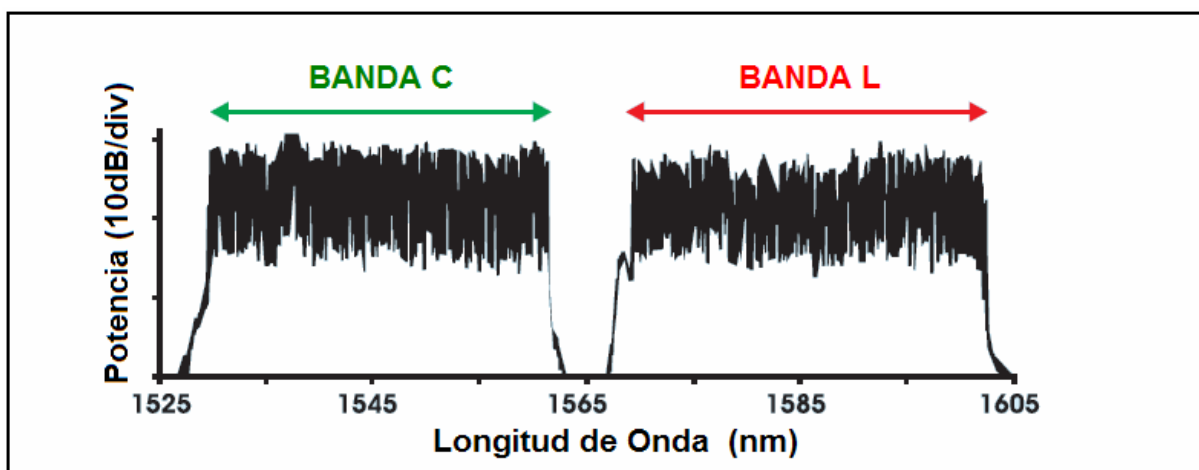
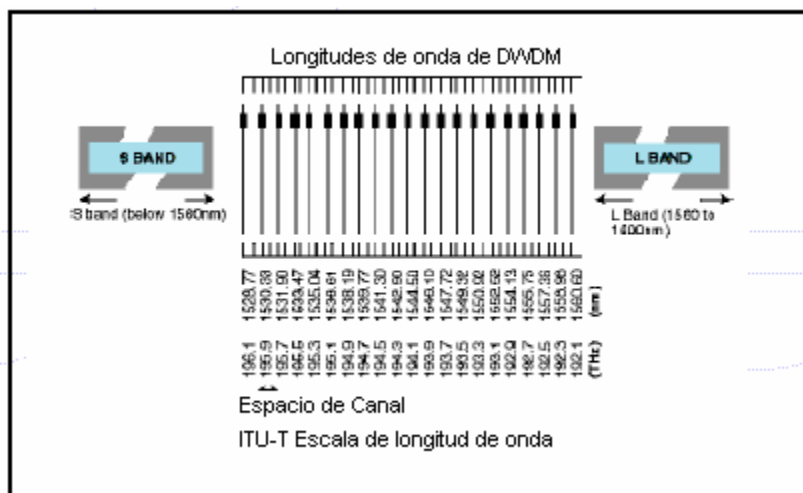


Figura. II.10. Espectro de las Bandas C y L

Los esfuerzos de los investigadores hoy en día 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.



## 2.6. CWDM (COARSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX)

La transmisión por CWDM está ganando popularidad en aplicaciones tales como acceso metropolitano 10 Gbps, CATV, y otros sistemas de distancias cortas punto a punto con servicios transparentes, utilizando protocolos tales como Fiber Channel, Gigabit y Fast Ethernet.

La técnica de multiplexado CWDM consta de 18 longitudes de onda definidas en el intervalo 1270 a 1 610 nm con un espaciado de 20 nm.

El multiplexado por división aproximada de longitud de onda (CWDM), una tecnología WDM, se caracteriza por un espaciado más amplio de canales que la división densa de longitud de onda (DWDM). Los sistemas CWDM son más rentables económicamente y por aplicación para redes de área metropolitanas.

El plan de longitudes de onda descrito en la Recomendación UIT-T G.694.2 tiene un espaciado de canales de 20 nm para dar cabida a láseres de gran ancho de banda espectral. Este espaciado amplio de canales se basa en consideraciones económicas relacionadas con el costo de los láseres y filtros, que varían según dicho espaciado. Para dar cabida a numerosos canales en cada fibra, el plan de longitudes de onda acordado abarca la mayoría de las bandas de menos de 1.300 nm a más de 1.600 nm del espectro de fibras ópticas monomodo, recientemente aprobadas.

Los sistemas CWDM admiten distancias de transmisión de hasta 50 km y no usan amplificación óptica. Entre esas distancias, la tecnología CWDM puede admitir diversas topologías: anillos con distribuidor (hubbed ring), punto a punto y redes ópticas pasivas. Además de todas las consideraciones anteriores, se adapta correctamente a las aplicaciones de redes de área metropolitanas y a las aplicaciones relativas al acceso, como los anillos de acceso y las redes ópticas pasivas.

Los sistemas CWDM pueden utilizarse como una plataforma integrada para numerosos clientes, servicios y protocolos destinados a clientes comerciales como son las compañías de telefonía móvil, proveedores de Internet, etc. 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 ya implantados a fin de liberarlos de éstos.

CWDM puede ser una alternativa de bajo costo a los sistemas dense wavelength division multiplexing (DWDM) para transporte óptico en cortas distancias (menos de 50 km) desde las instalaciones de las empresas al troncal metropolitano de los proveedores deservicio de comunicaciones.

El precio de un transceptor DWDM es típicamente de cuatro a cinco veces más caro que su contrapartida de CWDM.

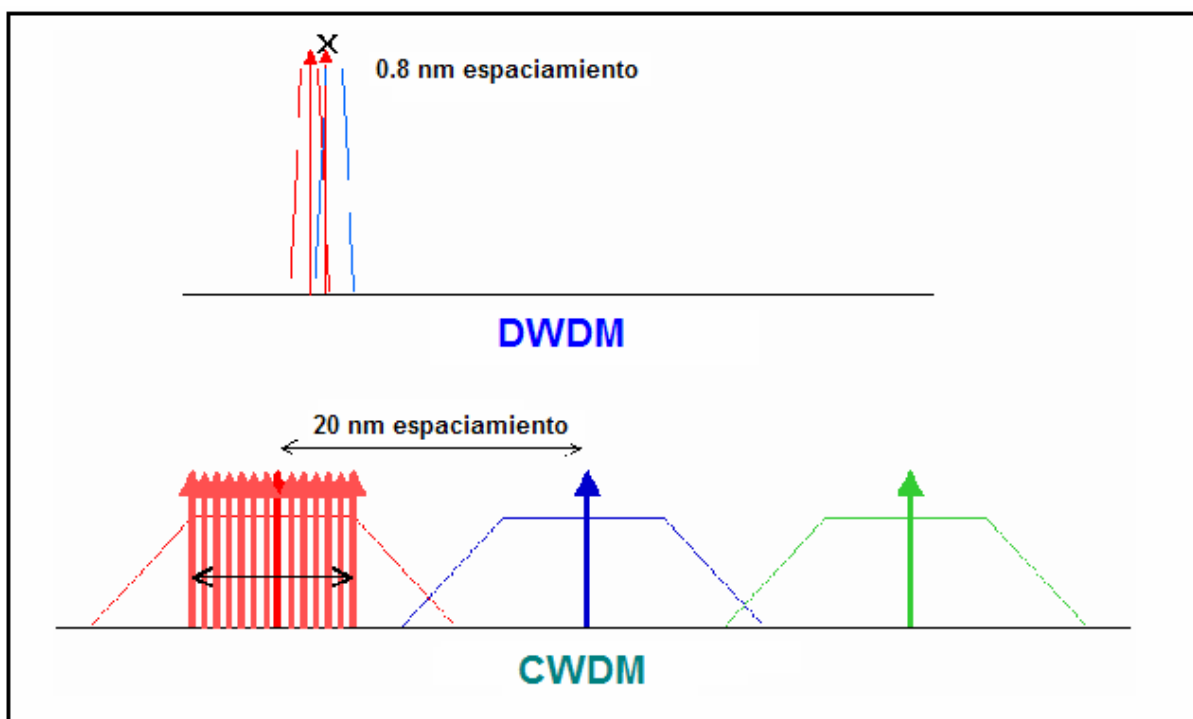


Figura. II.12. Comparación entre DWDM y CWDM

## **2.7. TOPOLOGÍAS Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA WDM**

Las arquitecturas de red están basadas en muchos factores, incluyendo tipos de aplicaciones y protocolos, distancias, patrones de acceso y uso, y topologías jerárquicas de red. En el mercado del área metropolitana, por ejemplo, topologías punto a punto pueden ser usadas para conectar varias localidades dentro de una empresa, topología en anillos para conectar localidades intra-office (IOFs) y para accesos residenciales, y topología de acoplamiento (Mesh) puede ser usada para conexiones inter-POP y conexiones de backbone long-haul. Por lo tanto, la capa óptica debe ser capaz de soportar muchas topologías y, por eso el inexplicable desarrollo en esta área, estas topologías pueden ser flexibles.

Hoy en día, las topologías más importantes son punto a punto y en anillo. Con enlaces punto a punto sobre DWDM entre sitios separados grandes distancias, estos solo necesitan ser unos dispositivos de clientes para convertir el tráfico que se utiliza en longitudes de onda específicas y multiplexarlas. Como una cross conexión óptica configurable y switches se han vuelto comunes, estas redes punto a punto y anillo deberían ser interconectadas dentro de una topología combinada (mesh), transformando red de área metropolitana ópticas dentro de plataformas flexibles.

### **2.7.1. Topología punto a punto**

La topología punto a punto puede ser implementada con o sin OADM. Estas redes son caracterizadas por: sus altas velocidades (10 a 40 Gbps), alta confiabilidad de la señal, y rápida restablecimiento de caminos. En redes long-haul, la distancia entre el transmisor y receptor puede ser de algunos cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre puntos finales es típicamente menos de 10. En redes MAN, no suelen utilizarse amplificadores.

Las protecciones en topologías punto a punto pueden ser provistas en un par de vías. En equipos de primera generación, la redundancia es a nivel del sistema. Enlaces paralelos conectan sistemas redundantes en cada Terminal. Los Switches en el caso de falla en equipos del cliente, mientras que sistemas DWDM ellos mismo proveen esta capacidad.

En equipos de segunda generación, la redundancia es a nivel de tarjeta. Enlaces paralelos conectan sistemas simples en los terminales y contienen redundancia en los transponders, multiplexores y CPU's. Aquí las protecciones han migrado a equipos DWDM, don las decisiones se conmuta bajo control local. Un tipo de implementación, por ejemplo, usa esquema de protección 1+1 basados en SDH.

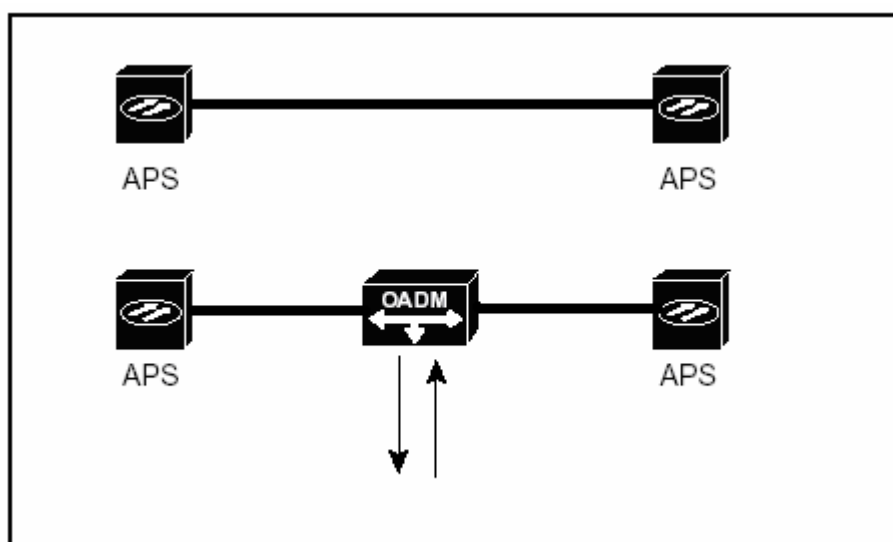


Figura. II.13. Arquitectura punto a punto

### 2.7.2. Topología en Anillo

La topología en anillos es la arquitectura más común encontrada en áreas metropolitanas y se extiende en distancias de aproximadamente 10 Kilómetros. El anillo de fibra puede contener 4 canales de longitudes de onda, y típicamente pocos nodos en los canales. La tasa de bit está en el rango de 622 Mbps a 10 Gbps por canal.

La configuración en anillo puede ser desarrollada con uno a más sistemas DWDM, soportando tráfico en cualquier sistema, o ellos pueden tener una estación de hub de uno o más nodos OADM, o satélites. El tráfico originado en el nodo de hub, es terminado y manejado, y la conectividad con otras redes es establecida. En los nodos OADM, longitudes de onda seleccionadas son extraídas y añadidas, mientras que las otras son transparentes. De este modo, la arquitectura en anillo permite que los nodos en el anillo proporcionen el acceso a elementos de red tales como router, switches, o servidores para añadir o extraer canales de longitudes de onda in el dominio óptico. Con el incremento en el número de OADMs, sin embargo, la señal es sujeta a pérdidas y la amplificación puede ser requerida.

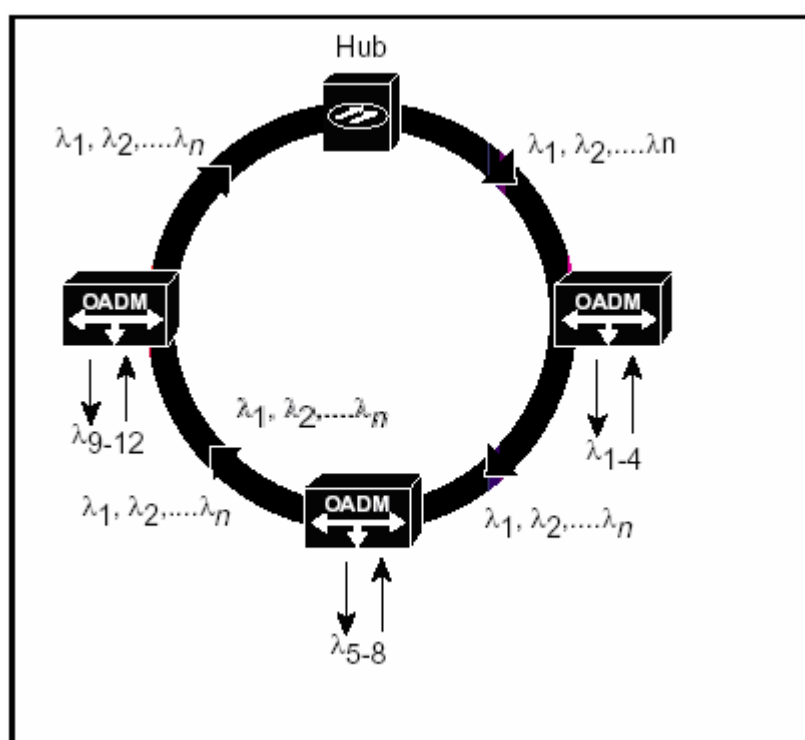


Figura. II.14. Hub WDM y Arquitectura en anillo

Redes candidatas para aplicaciones DWDM en el área metropolitana son usualmente basadas en estructura SDH en anillo con protección de fibra 1+1. Estos esquemas tales como anillos conmutados por caminos unidireccionales (UPSR) o anillos conmutados por caminos bidireccionales (BPSR) pueden ser reutilizados para implementación de WDM, como lo se puede ver en la Figura II.15.

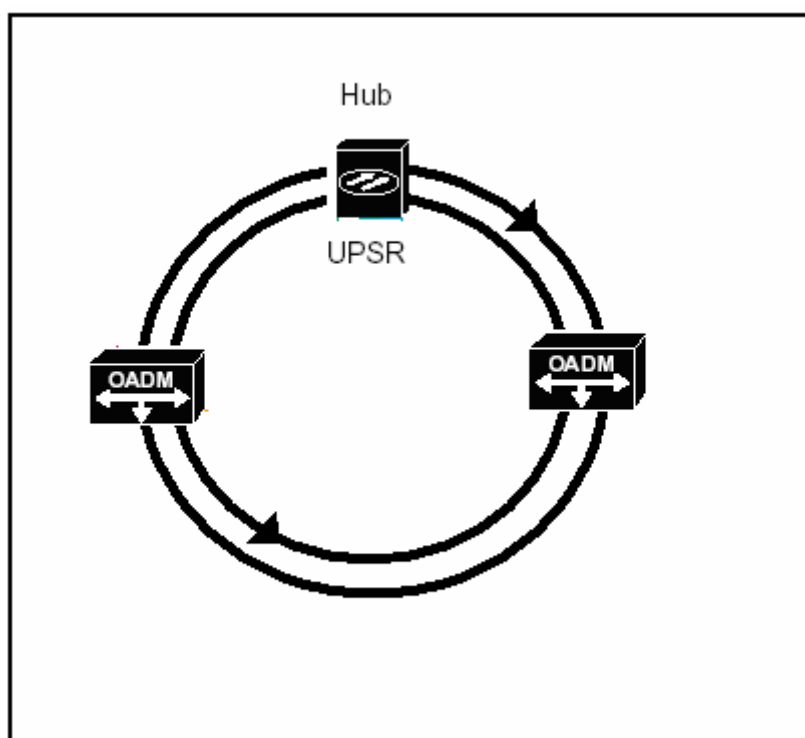


Figura. II.15. Protección UPSR en un anillo DWDM

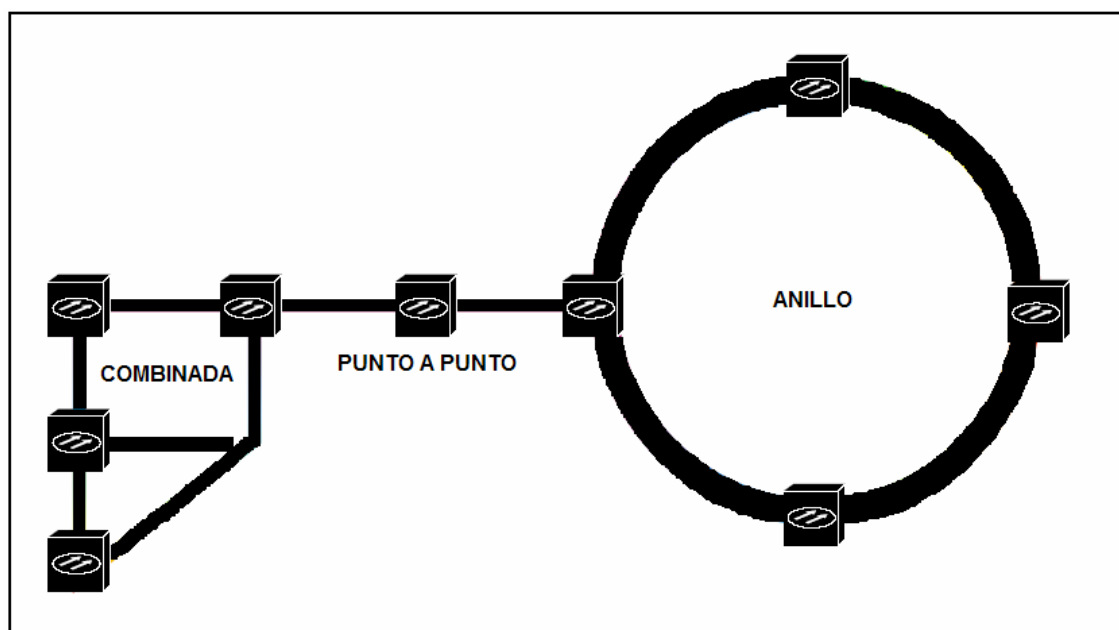
Otros esquemas, tales como anillos conmutados de línea bidireccional (BLSR), permiten que el tráfico viaje desde la transmisión hacia el nodo de recepción por la mayoría de ruta seleccionada. El porque de esto, BLSR es considerado preferentemente para redes SDH, especialmente cuando es implementado con cuatro fibras, las cuales ofrecen redundancia completa.

### 2.7.3. Topología combinada

Las topologías combinadas son el futuro de las redes ópticas. Hoy en días topologías en anillo y punto a punto tienen su posicionamiento en el mercado, pero la topología combinada promete ser la topología más robusta. Este desarrollo se puede logara por la introducción de cross conectores y switches ópticos, que en algunos casos remplazan parcialmente y en otros casos remplazan completamente a equipos DWDM.



Desde un diseño estándar, hay un gran camino viable desde topologías punto a punto y topologías combinadas. En un comienzo con enlaces punto a punto, equipados con nodos OADM fueron el principio para dar flexibilidad, y consecuente conectarlos, la red puede desarrollarse dentro de una topología combinada sin un completo rediseño. Adicionalmente, las topologías combinadas y en anillo pueden ser juntadas por enlaces punto a punto como se observa en la Figura II.16.



**Figura. II.16. Arquitectura Combinada, punto a punto y en anillo**

Las redes combinadas DWDM, consisten en interconectar todos los nodos ópticos, esto requiere de la nueva generación de protección. Donde previo a esquemas de protección con redundancia en los sistemas, tarjetas o niveles de fibra, la redundancia ahora se migra a niveles de longitudes de onda. Esto significa que, los canales de datos pueden cambiar de camino en longitud de onda dentro de la red. Esta situación es análoga a que en un circuito virtual dentro de ATM, este experimente cambios en su identificador virtual de camino, y cambie su canal. En redes ópticas, este concepto es algunas veces llamado un camino de luz.

Las topologías combinadas pueden requerir un alto grado de inteligencia para desarrollar sus funciones de protección y manejo de ancho de banda, incluyendo fibra y conmutación de longitudes de onda. Los beneficios, son flexibilidad y eficiencia, sin embargo, son potencialmente grandiosas. Finalmente, las redes combinadas tienen alta dependencia en el software para el manejo. Un protocolo basado en conmutación de niveles multiprotocolo (MPLS), está desarrollándose para soportar caminos enrutados en redes ópticas.

## **2.8. MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES**

Porque los sistemas WDM envían señales desde diferentes fuentes sobre una sola fibra, ellas necesitan alguna forma de combinar las señales. Esto es hecho con un multiplexor, el cual toma longitudes de onda ópticas desde múltiples fibras y las convierte dentro de un rayo. En el receptor final, el sistema debe ser capaz de separar fuera los componentes de luz así estas pueden ser discretamente detectadas.

Los demultiplexores desempeñan esta función separando el rayo recibido en componentes de longitud de onda y uniéndolas en una sola fibra óptica. La demultiplexación debe ser realizada antes de que la luz sea detectada, porque los fotodetectores son equipos tontos que no pueden seleccionar o detectar una longitud de onda. Existen dos tipos de multiplexación y demultiplexación en sistemas unidireccionales y sistemas bidireccionales como se muestra en la figura a continuación.

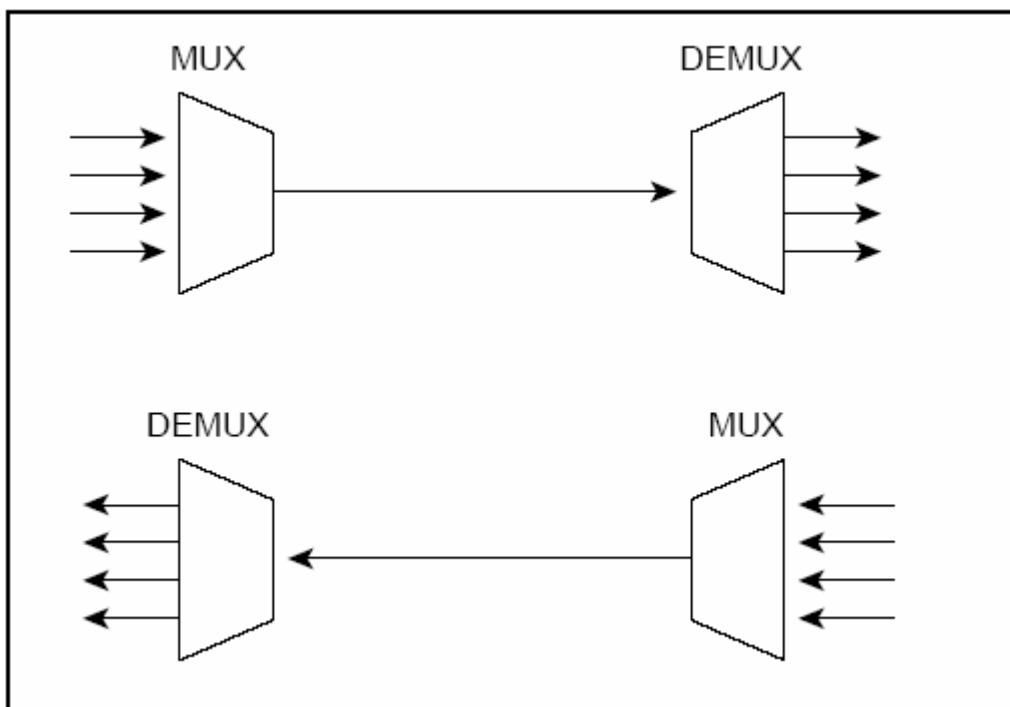


Figura. II.17. Multiplexación y Demultiplexación unidireccional

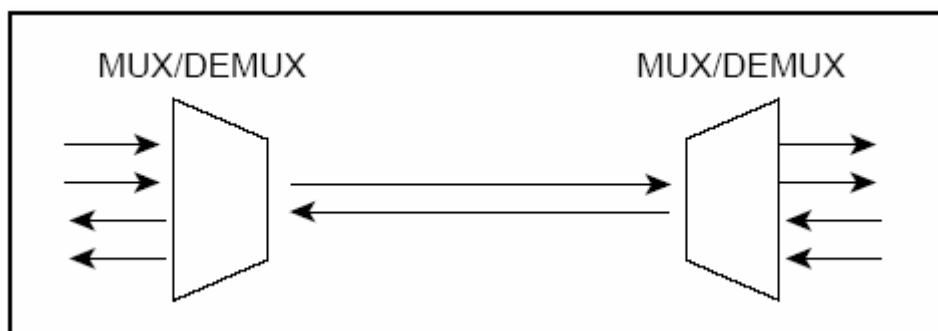
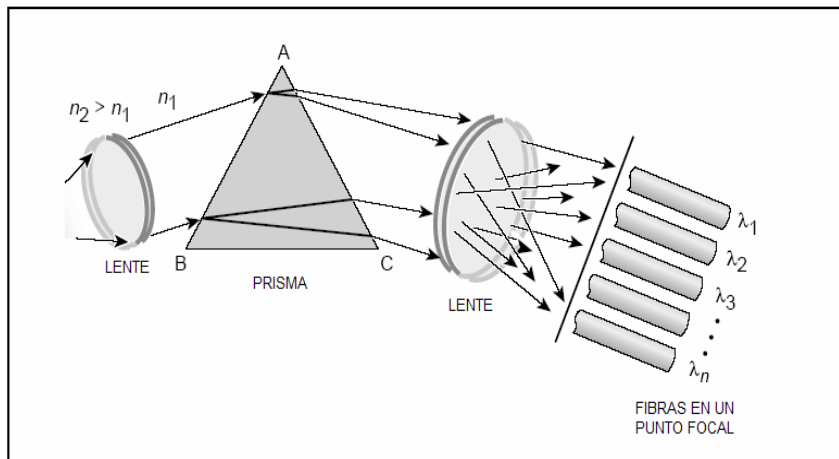


Figura. II.18. Multiplexación y Demultiplexación bidireccional

### 2.8.1. Técnicas para Multiplexar y Demultiplexar

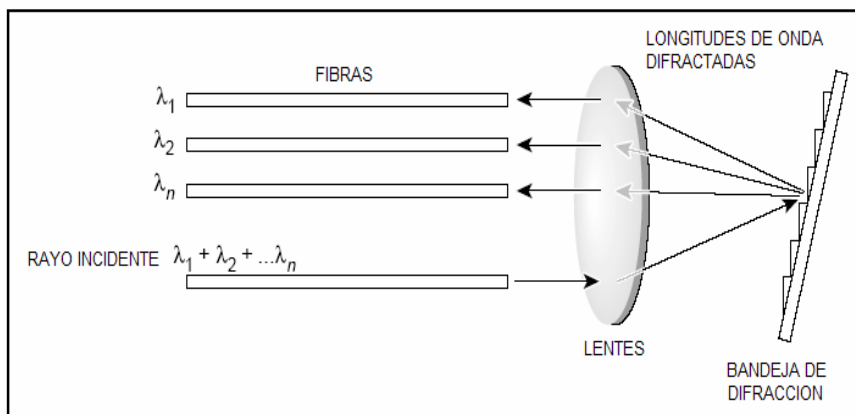
Una simple forma de multiplexar y demultiplexar luz puede ser realizada usando un prisma. La Figura II.19. Muestra un caso de demultiplexación. Un rayo paralelo de luz policromática impacta en la superficie del prisma, cada componente de longitud de onda es reflejado diferentemente en una misma dirección. Este es el efecto arco iris. En la luz de

salida, cada longitud de onda es separada de la próxima por un ángulo. Un lente luego enfoca cada longitud de onda al punto donde se necesita para entrar en la fibra. El mismo componente puede ser usado en forma inversa para multiplexar longitudes de onda dentro de una fibra.



**Figura. II.19. Demultiplexión por refracción de prisma**

Otra tecnología esta basada en el principio de difracción y en la interferencia óptica. Donde una luz policromática con un diferente ángulo y con un diferente punto en el espacio. Usando un lente, estas longitudes de onda pueden ser enfocadas dentro de fibras individuales.



**Figura. II.20. Difracción por bandeja de guía se onda**

Arreglos de bandejas de guía de onda (AWGs) son también basadas en el principio de difracción, un equipo AWG, algunas veces llamado un ruteador óptico o ruteador de guías de onda, consiste en un arreglo de guías de onda con canales curvos con una firme diferencia en la longitud del camino entre canales adyacentes. Las longitudes de onda están conectadas a cavidades en la entrada y salida. Cuando la luz entra en la cavidad de entrada, esta es difractada y entra en el arreglo de la guía de onda. Allí la diferencia de longitud óptica de cada guía de onda introduce retardos en la cavidad de salida, donde el arreglo de fibras es acoplado. El proceso resultante en diferentes longitudes de onda tiene interferencia máxima en diferentes posiciones, las cuales corresponden a puertos de salida.

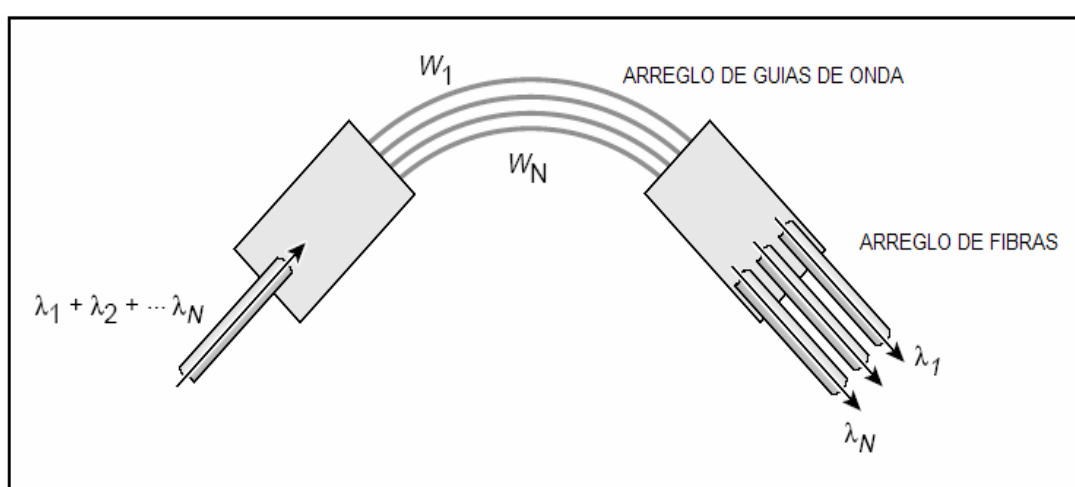


Figura. II.21. Bandeja de arreglo de guía de onda

## 2.9. DENSIDAD DE CANALES

La densidad de canales es muy importante en el estudio de sistemas WDM. La fibra óptica provee espacios uniformemente distanciados para canales ópticos, aunque el sistema no vaya a utilizar todos los espacios disponibles. La ITU ha determinado varias regulaciones de esto, en las cuales establece un grupo de frecuencias centrales separadas 100 GHz, lo que corresponde a 0.8 nm en la banda de fibra de erbio. Algunos sistemas comerciales tienen un espaciamiento de 50 GHz. Los desarrolladores están hablando de espaciamientos de 25 GHz e incluso 12.5 GHz, pero aun no está definido cuando y si realmente esta tecnología se vuelva de uso comercial. Todo esto está en la recomendación G. 692 como se muestra en la Figura II.22.

## Estandares ITU-T

G.692 describe la arquitectura de referencia y la grilla de longitudes de onda para sistemas DWDM

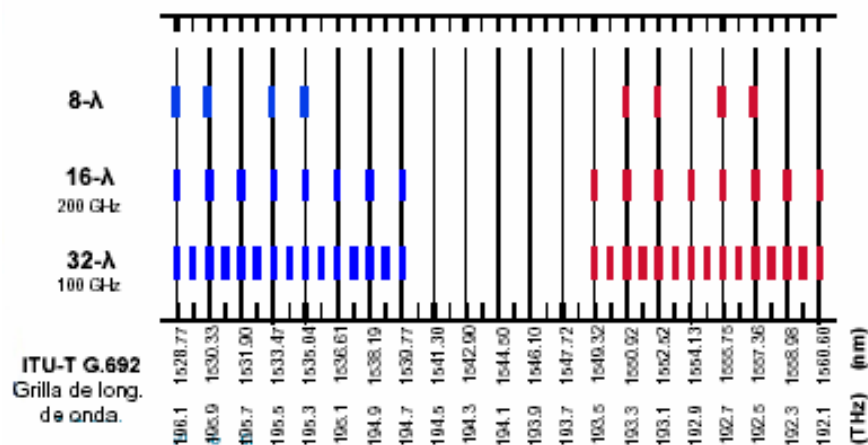


Figura. II.22. Longitudes de onda para WDM

Típicamente espaciamentos de 200 GHz o menos son llamados dense wavelength division multiplexing, o DWDM. Esto permite muchos más canales a ser ajustados dentro del sistema. Los espaciamentos anchos generalmente son conocidos como Wide Wavelength Division Multiplexing, o WWDM. Los espaciamentos anchos como 20 a 25 nm son usados en algunos sistemas, especialmente en aquellos operando en las bandas de 850 o 1300 nm.

Pocos sistemas con mayor espaciamento han sido demostrados con longitudes de onda visibles con fibras plásticas pero no son usados ampliamente.

Entre mayor sea el espaciamento, es más fácil y más barato realizar la multiplexación y demultiplexación ópticas. Por otro lado, el ancho de banda del sistema limita el rango total de longitudes de onda utilizables.

## **2.10. SEPARACIÓN DE CANALES ÓPTICOS.**

La demultiplexación óptica requiere que la separación de canales sea lo más limpia posible, proporcionando un alto grado de aislamiento entre ellos. Este aislamiento debe ser entre 20 y 40 dB, es decir, la entrada de canales adyacentes debe estar reducida de 20 a 40 dB bajo la entrada del canal deseado.

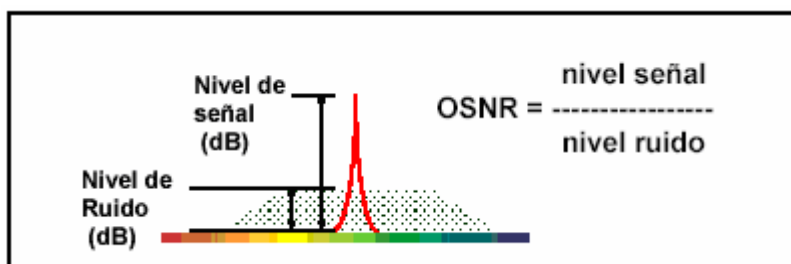
La mejor forma de ver como trabaja esto es considerar la transmisión de un demultiplexor como función de la longitud de onda para un puerto de salida, es decir un canal óptico individual.

Idealmente, el puerto debe transmitir toda la luz en el centro del canal óptico, y nada de luz fuera de él. Normalmente el pico de transmisión no es del 100%, con una pérdida típica de 3 a 5 dB.

En los sistemas actuales, algunos de los canales no están poblados por transmisores y receptores, es decir, el espacio está disponible pero no es usado por el momento. Además, algunos diseños dejan intencionalmente algunos espacios para evitar solapamientos de las señales por dispersión. Algunos sistemas WDM dejan algunos huecos entre bloques de longitudes de onda, dejando libres uno o dos espaciamientos de 100 GHz entre grupos de ocho canales ópticos.

## **2.11. RELACIÓN SEÑAL A RUIDO ÓPTICA**

OSNR es una medida de la relación entre el nivel de la señal y el nivel de ruido del sistema. Si la OSNR decrece, crece el error en la detección y recuperación de bits. Se mide en decibeles (dB).



**Figura. II.23. Relación señal a ruido óptico**

La relación señal a ruido es característica de cualquier sistema de comunicación. En un sistema de comunicación óptico, la relación señal a ruido óptico (OSNR) es la medida del nivel de potencia óptica (dB) de una señal transmitida dividido por el nivel de potencia del ruido existente en el sistema (dB).

La relación señal a ruido es una medida de como una buena señal óptica sobresale a cualquier luz que penetra por accidente en el sistema. La señal debe ser considerablemente más potente que el ruido subyacente.

La señal reduce su potencia con la distancia en una fibra óptica y debe ser necesariamente elevada en forma periódica por medio de amplificadores ópticos, no obstante la ganancia óptica asociada a esos amplificadores debe balancearse contra el ruido adicional que cada amplificador introduce.

El ruido es creado por los láseres transmisores y los amplificadores ópticos. Los amplificadores ópticos amplifican la señal, pero también el ruido indeseado. Mientras menor es el nivel de la señal y/o mayor es el nivel de ruido, menor será el OSNR. Los receptores aceptan sólo un determinado nivel de OSNR para distinguir las señales del ruido del sistema.



## 2.12. REPETIDORES

Los repetidores convencionales funcionan transformando la señal óptica en eléctrica, amplificando ésta última, y transformándola de nuevo a una señal óptica mediante un diodo Láser para de nuevo inyectarla en la Fibra Óptica con mayor potencia que antes. Este proceso es complejo e introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos que son necesarios para ello. Este problema se podría solucionar si todo el camino fuese óptico (all-optical).

Esta solución fue llevada a cabo por la Universidad de Southampton mediante repetidores/amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFAs). Estos repetidores evitaba el tener que convertir la señal óptica a eléctrica y viceversa, y evitando así los retardos.

El funcionamiento de estos repetidores ópticos se basaba en la posibilidad de amplificar una señal óptica de longitud de onda 1550 nm haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud, dopada con iones de erbio, e inyectando en ella una luz Láser de 650 nm (fenómeno que se conoce como bombeo o pumping), consiguiéndose de esta manera hasta 125 dB de ganancia. En la actualidad, los repetidores/amplificadores comerciales utilizan un Láser con una longitud de onda de 980 o 1480 nm en lugar de los 650 nm originales.

## 2.13. AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Debido a la atenuación, existen límites de cuan largo un segmento de fibra puede ser propagar una señal íntegramente sin que esta llegue a degradarse. Antes del descubrimiento de los amplificadores ópticos (OAs), existieron repetidores por cada señal transmitida. El OA puede amplificar todas las longitudes de onda al mismo tiempo y sin conversión óptico-eléctrico-óptico. Además de ser usados en enlaces ópticos, los amplificadores ópticos pueden ser usados para empujar señales de potencia después de multiplexar o antes de demultiplexar, en ambos los cuales pueden introducir pérdidas en el sistema.

### 2.13.1. Amplificador de Fibra Dopada de Erblio (EDFA)

Es posible que sistemas WDM puedan ser capaces de transmitir sobre grandes distancias, una de las claves es el uso de Amplificadores de Fibra Dopada de Erblio (EDFA). Al mismo tiempo, esto hace posible el desarrollo de otros elementos de red y nuevas tecnologías.

El Erblio es un elemento raro que, cuando se excita, emite luz alrededor de 1.54 micrómetros, baja pérdida en longitudes de onda para fibras ópticas usadas en WDM. La Figura II.24. describe un simple diagrama de un EDFA. Una señal débil entra en la Fibra Dopada de Erblio, dentro del cuál la luz de 980 nm o 1480 nm es inyectada usando una bomba láser. Esta introducción de luz estimula a los átomos de erblio a soltar su reserva de energía con una luz adicional de 1550 nm. Como este proceso continua bajo la fibra, la señal crece fuertemente. Las espontáneas emisiones en el EDFA también adicionan ruido a la señal, esto determina la figura de ruido de un EDFA.

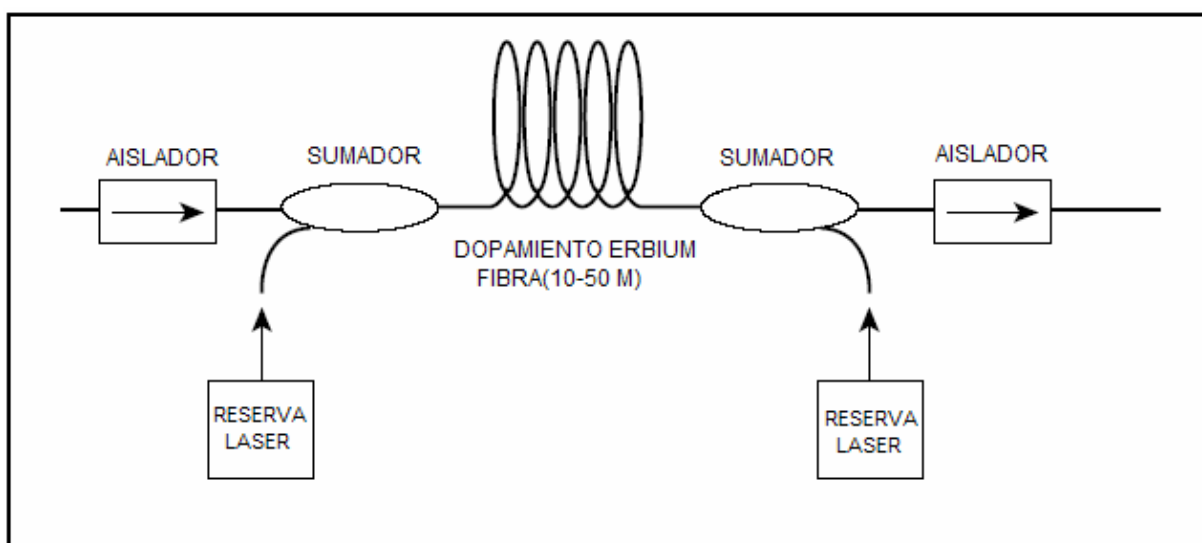


Figura. II.24. Dopaje de Erblio para diseño de amplificador de fibra

La clave del desempeño de los parámetros de los amplificadores ópticos son ganancia, nivel de ruido, potencia de salida. EDFAs son típicamente capaces de tener una ganancia de 30 dB o más y una potencia de salida de 17 dB o más. Estos es el principal punto cuando se selecciona un EDFA. La ganancia debería siempre ser grande porque todas las

señales deben ser amplificadas uniformemente. Mientras la ganancia de la señal provenga de la tecnología de EDFA es independiente a la longitud de onda, este puede ser corregido por filtros. Estos filtros son muchas veces construidos dentro de amplificador.

Un bajo ruido es un requisito, porque el ruido junto con la señal es amplificado dentro de EDFA. El ruido no puede ser eliminado a la salida, por esta razón la relación señal a ruido es un factor limitante para poner conectar una mayor cantidad de amplificadores en una red óptica. En la práctica, la señal puede viajar por más de 120 Km entre amplificadores. En una distancia de 600 a 1000 Km la señal debe ser regenerada. Los amplificadores EDFA están disponibles para la banda C y la banda L.

#### **2.14. OADM (OPTICAL ADD/DROP MULTIPLEXER)**

Entre los puntos de multiplexación y demultiplexación en un sistema WDM, como de muestra en la Figura II.17., existe un área en la cuál existen múltiples longitudes de onda. Estos es muchas veces deseable para poder remover o insertar una o más longitudes de onda en algunos puntos a lo largo de este espacio. Un amplificador de adición/extracción (OADM) desempeña estas funciones. Mejor que combinar o separar todas las longitudes de onda, los OADM pueden remover alguna longitud de onda mientras pasa otras. Los OADMs son la parte clave del movimiento hacia el destino de las redes ópticas.

Los OADMs son en algunos aspectos iguales a los ADM utilizados en SDH, a excepción que en los ADMs solo se puede añadir o extraer una longitud de onda, y las conversiones de la señal de óptico a eléctrico toma lugar. La Figura II.25. es una representación esquemática del proceso de adición extracción. En este ejemplo también se puede observar la pre y las post amplificación, estos componentes pueden o no estar en un OADM, todo depende del diseño.

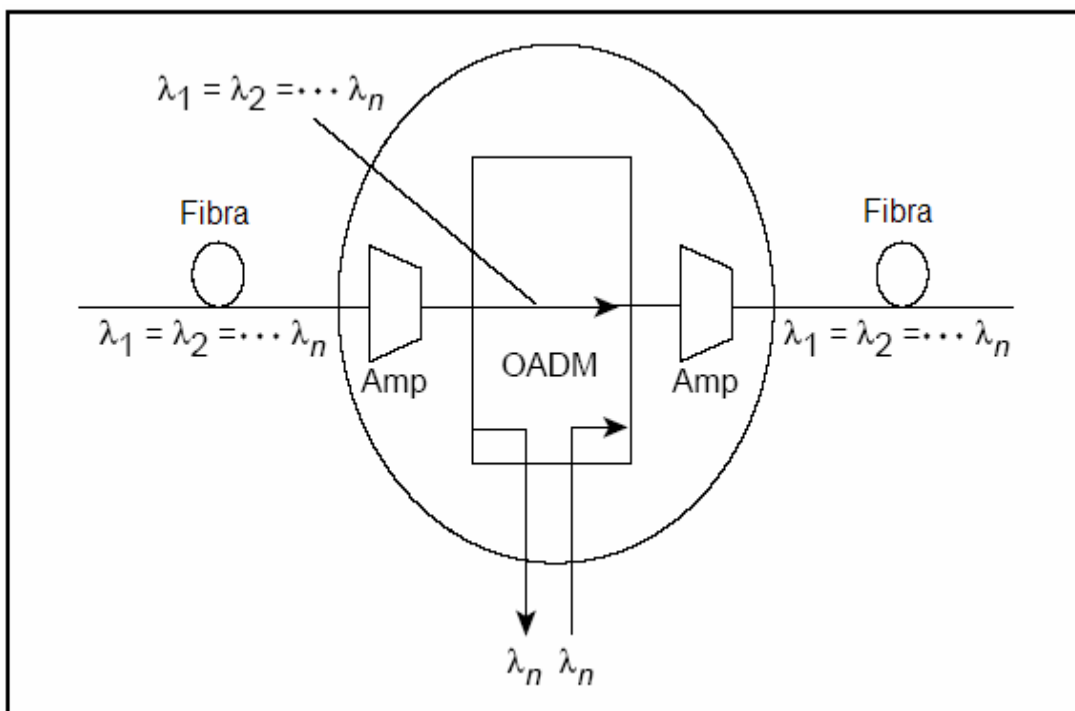


Figura. II.25. Extracción/Adición de longitudes de onda

Existen dos tipos generales de OADMs. La primera generación son equipos fijos que son configurados físicamente para extraer determinadas longitudes de onda mientras adicionan otras. La segunda generación es reconfigurable y capas de seleccionar dinámicamente cuales longitudes de onda son extraídas y adicionadas.

La configuración más empleada en OADM es usando multiplexación uno tras otro (back to back), como se muestra en la Figura II.26 En esta configuración, todos los  $n$  canales de longitud de onda en las señales ópticas de multilongitud de onda, son demultiplexados en sus longitudes de ondas tributarias.

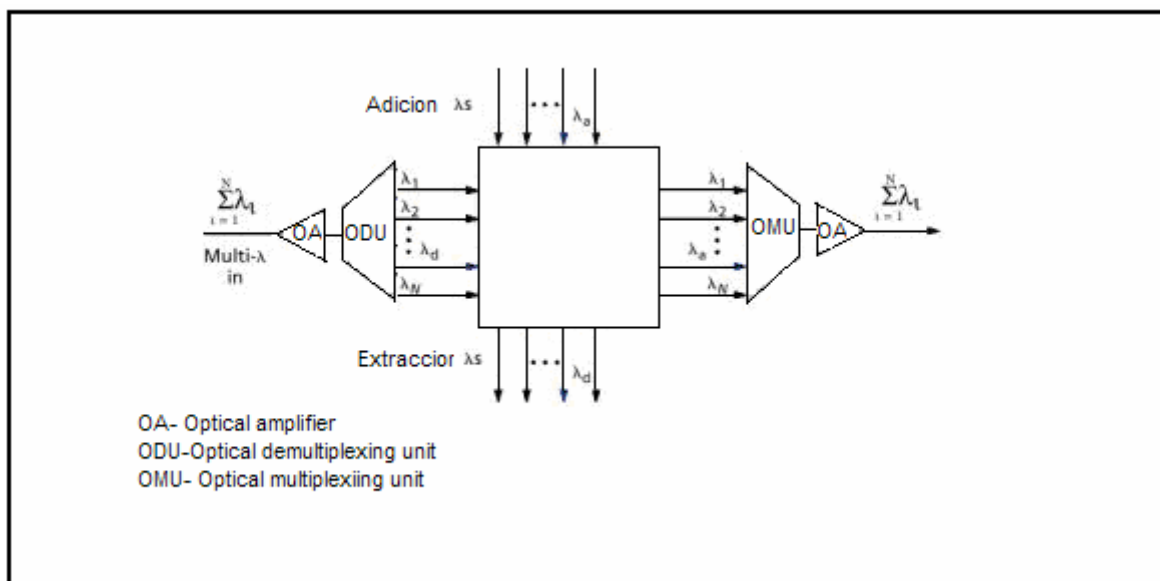


Figura. II.26. Arquitectura del OADM basado en el multiplexado de uno tras otro.

## 2.15. MEDIDA DE DESEMPEÑO

Hay muchos aspectos que hacen que el diseño de sistemas WDM sean únicos. Un espectro de canales WDM pueden empezar a acumular declives y efectos de rizados como las señales propagadas de un canal de amplificación. Además, cada amplificador introduce emisiones espontáneas amplificadas (ASE) dentro del sistema, el cuál causa una disminución en la relación señal a ruido, conduciendo a una degradación de la señal. En la fotodetección, algunas otras características de los sistemas amplificados ópticamente vienen dados. La tasa de error de bit (BER) es determinada de forma diferente en un sistema de amplificador óptico que en un regenerador convencional. La probabilidad de error en el final es dominado por la cantidad de ruido recibido. En un óptimo diseño de sistemas de amplificador óptico, la probabilidad de error en la recepción de un valor binario uno es determinado por la mezcla de la señal con el ASE, mientras la probabilidad de error en la recepción de un valor binario cero es determinado solamente por el ruido ASE.

## 2.16. VENTAJAS WDM

WDM nos brinda las siguientes ventajas:

- Maximiza la capacidad de la fibra debido a que: incrementa la capacidad de la fibra óptica existente, disminuye el número de fibra óptica nueva que se necesita añadir y permite un crecimiento gradual de la capacidad a medida que se vaya demandando.
- WDM transmite una gran variedad de señales ópticas diferentes gracias a que es capaz de manejar diferentes tipos de señales, por ejemplo OC-48 y/o OC-192 y/o señales asíncronas al mismo tiempo y es protocolo independiente, esto quiere decir que sólo transporta señales. Puede transportar FDDI, ESCON, FICON, y o ethernet.
- WDM está hecha para operadores de telecomunicaciones de largas distancias utilizan topologías tanto punto a punto o en anillo. La repentina disponibilidad de 16 nuevos canales de transmisión en donde cada operador pueda expandir su capacidad y simultáneamente su ancho de banda sin instalar una nueva fibra óptica.
- La gran cantidad de capacidad es crítico en el desarrollo de redes en anillo, las cuales son caracterizadas por el uso de alta tecnología. Por el desarrollo de terminales WDM, un operador puede construir sistemas 100 % protegidos, 40 Gbps, con 16 señales de comunicaciones separadas usando solamente dos fibras.
- Los operadores que están construyendo o migrando sus redes, pueden encontrar en WDM una solución económica para incrementar su capacidad.

Las ventajas de WDM bidireccional son:

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

Las ventajas de WDM 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 lambdas para eliminar el crosstalk.
- Con WDM las grandes compañías de telecomunicaciones como lo es ANDINATEL S.A. pueden aprovechar las ventajas que brinda esta tecnología para arrendar servicios y al mismo tiempo es una tecnología tentativa para las compañías que arriendan fibras oscuras dentro de una red de fibra óptica, así esta podrá incrementar su ancho de banda con todas las ventajas de WDM.

## **2.17. EL FUTURO DE WDM**

WDM va a continuar proveyendo ancho de banda para largas cadenas de datos. Por esta razón, la capacidad de los sistemas van a crecer tanto como la tecnología vaya avanzando y el espaciamiento entre longitudes de onda sea cada vez más corto, y así poder tener mayor número de longitudes de onda dentro de una fibra óptica.

## 2.18. LIMITANTES DE UN SISTEMA ÓPTICO

- Efectos lineales
  - Atenuación
  - Dispersión
- Efectos no lineales
- Degradación SNR óptico

### 2.18.1. Efectos Lineales

**2.18.1.1 Atenuación.** La potencia de la señal óptica es atenuada al viajar por la fibra, a través de los conectores, fusiones, etc. El Rx debe recibir un nivel de potencia óptica por sobre su sensibilidad de recepción o habilidad para distinguir la señal del ruido.

- Pérdida óptica =  $10\log(\text{potencia de salida}/\text{potencia de entrada})$
- 50 % de pérdida en la señal = 3db. 75% = 6 dB, 90% = 10 dB, 99% = 20 dB
- 1 km = 0.62 millas, 1 milla = 1.61 km

La atenuación óptica es una pérdida en el nivel de la señal y se mide en decibeles (dB). Hay diferentes fuentes de atenuación en un sistema DWDM:

**Pérdida en la fibra.** Las impurezas en una fibra óptica absorben energía de la señal de luz que pasa. Se mide en decibeles (dB) de pérdida por unidad de longitud (kilómetro) de la fibra óptica (dB/km).

**Pérdida en las fusiones y conectores.** Imperfecciones ópticas (espacios de aire, etc.) existentes en las fusiones de fibras y en los conectores absorben y/o desvían la energía de la señal de luz que pasa. Se mide en decibeles (dB) por fusión/conector. Valores típicos: 0,1 dB/fusión, 0,5 dB/conector.



**Pérdidas por Inserción.** Pérdida que ocurre cuando la señal óptica pasa a través de un dispositivo óptico pasivo. Los dispositivos ópticos pasivos incluyen elementos como multiplexores ópticos y demultiplexores, módulos ópticos de bajada y subida, aisladores, filtros, fibras de compensación de la dispersión, etc.

### 2.18.1.2. Dispersión

- Dispersión cromática
- Dispersión modal
- Dispersión por modo de polarización (PMD)

#### Dispersión Modal

- Cada modo se propaga a diferente velocidad
- Asociada solamente con las fibras multimodo
- Influenciada por el perfil del índice de refracción

#### Dispersión Cromática

- Existe porque cada longitud de onda (color) viaja a diferente velocidad en la fibra
- Asociada con fibras monomodo y multimodo
- Aumenta directamente con el ancho espectral de la fuente
- Influenciada por la estructura y material de la fibra

La Dispersión ensancha la señal óptica la que causa Interferencia inter simbólica y es linealmente dependiente de la longitud del enlace. El Rx tiene dificultad al tomar decisión sobre la señal que llega.

**Dispersión por Modo de Polarización.** PMD es un problema para sistemas a 10+ Gbps. Tipo de dispersión estadística causada por:

- Viento soplando cables aéreos
- Trenes ferroviarios vibrando la fibra
- Enterrada cerca de los rieles
- Cambios de temperatura
- No es posible compensar con un dispositivo óptico pasivo

### 2.18.2. Efectos no Lineales

- Esparcimiento estimulado Brillouin (SBS)
  - Fenómeno de fotón acústico.
  - Ondas acústicas actúan como luz retroesparcida
  - Corrimiento Doppler hacia baja frecuencia
- Esparcimiento estimulado Raman (SRS)
  - Fenómeno de fotón óptico
  - Frecuencia óptica se corre a mucho más baja frecuencia
  - Se transfiere potencia desde longitud de onda corta a longitud de onda larga
- Automodulación de fase (SPM)
  - Una señal óptica intensa modula el índice de refracción de la fibra y por consiguiente su propia fase.
  - Se puede reducir con compensación de dispersión localizada

- Modulación de fase cruzada (XPM)
  - En sistemas WDM, los canales adyacentes modulan el índice de refracción de la fibra y por consiguiente cada una de las otras fases.
  - El efecto es peor si los canales están más cerca.
  - Se puede reducir con compensación de dispersión localizada

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LA RED WDM

En este capítulo se va a utilizar todos los conceptos y recomendaciones vistos en los capítulos anteriores, estos conocimientos van a ser de vital importancia para poder realizar un diseño adecuado de la red WDM que se va a implementar en ANDINATEL S.A.

Se debe tomar en cuenta que es una red que va abarcar las ciudades de Quito y Guayaquil, entre la cuales existe una distancia aproximada de 454 Km que es la distancia que tiene la fibra tendida de la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A. la distancia es un factor importante en el diseño de la red ya que según esta se va a tomar decisiones en los equipos a utilizarse.

Otro factor a tomar en cuenta son las atenuaciones que se presentan en la fibra debido a empalmes que esta tiene en las distintas ciudades por donde pasa, ya que en la ciudades mencionadas en el capítulo uno están puestos equipos multiplexores de la red SDH ya existente. Además de los empalmes realizados a causas de la rupturas producidas entre estos dos puntos donde se va a diseñar la red DWDM paralela.

La topología a utilizarse es punto a punto, por la infraestructura existente en ANDIANTEL S.A.

Una correcta elección de equipos nos va a determinar la calidad del servicio que se va a brindar y más que calidad, la confiabilidad que va a tener la red a posibles fallas que se produzcan, los equipos adecuados van a dar a la red robusta, con errores mínimos, que se van a limitar a factores externos como lo son ruptura de fibra, degradación de fibra y problemas de energía eléctrica que son los problemas más comunes.

### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA

De acuerdo a lo especificado en el Capítulo I la recomendación de ITU-T G.652, describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizado para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm.

En esta recomendación en la cláusula 5.9 referente a uniformidad longitudinal de la dispersión cromática se aclara que para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras UIT-T G.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. Lo que aclara el panorama de hasta cuantas longitudes de onda se pueden utilizar en la fibra óptica de ANDINATEL S.A.

Por otro lado a continuación se presenta un cuadro dentro del cuál se presenta las principales características que tiene este tipo de cables de fibras ópticas asociadas o reguladas por la recomendación UIT-T G.652, este cuadro es importante ya que esta asociado a la recomendación UIT-T G.692, que se estudio en el Capítulo II y que es el que da el espaciamiento de las longitudes de onda para un sistema DWDM.

La subcategoría de cable de fibra óptica monomodo es adecuada para los sistemas de transmisión de hasta STM-64 de UIT-T G.957 [5], UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. La dispersión cromática deberá en general acomodarse a sistemas de transmisión de alta velocidad en la región de longitud de onda de 1550 nm.		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 nm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota 2)
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo (nota 2)	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA 1 – La longitud de onda superior de esta banda no se ha determinado completamente. Sin embargo, XX es menor o igual a 25 nm.		
NOTA 2 – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD <sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable específica.		

**Tabla. III.1. Resumen de características de la fibra G.652**

El tipo de cable regularizado por esta recomendación (ITU-T G.652) soporta hasta una capacidad de 40 Gbps, por lo que en un sistema DWDM se debe utilizar cuatro canales, cada uno de hasta STM-64 (10 Gbps), esta conclusión es óptima para las aspiraciones que se tiene con respecto a cuanto se quiere incrementar la capacidad de la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A. Este incremento significativo de capacidad en el enlace de Quito-Guayaquil, va a satisfacer enormemente las necesidades para el futuro, con

garantía de por lo menos 10 años que es un tiempo adecuado de esperanza para un proyecto de esta naturaleza.

### 3.1.1. Canales a Utilizarse y Número Longitudes de Onda

La recomendación de la ITU-T G.692, define y proporciona valores para los parámetros de las interfaces ópticas de sistemas entre centrales y de larga distancia con un objetivo de distancia de 160 km sin amplificadores de línea y con un objetivo de distancia de 640 km con amplificadores de línea.

Esta Recomendación pretende describir sistemas de línea ópticos con las características siguientes:

- Número máximo de canales: 4, 8, 16, 32 o más;
- Tipos de señales: STM-4, STM-16 y STM-64;
- Transmisión sobre una única fibra: unidireccional o bidireccional.

Esta Recomendación se ha elaborado en base a la experiencia existente con amplificadores de fibra óptica de silicio dopado con erbio (EDFA, erbium-doped (silica-based fibre amplifiers) trabajando en la región de longitud de onda de 1550 nm.

La siguiente Tabla va a servir de referencia para tener una idea de los distintos sistemas que se pueden manejar en esta recomendación, y se han construido de la siguiente manera:

$$nWx-y.z$$

dónde,

- n es el número máximo de longitudes de onda.
- W es una letra que indica la longitud del vano, siendo:
  - L indica larga distancia;

- V indica muy larga distancia;
  - U indica distancia ultra larga
- x es el número máximo de vanos permitidos para el código de aplicación (x = 1 para sistemas sin amplificadores de línea. En este caso se omite)
  - y es la velocidad binaria máxima (nivel STM) de las señales
  - z es el tipo de fibra, siendo:
    - 2 indica fibra del tipo G.652.
    - 3 indica fibra del tipo G.653.
    - 5 indica fibra del tipo G.655.

Aplicación	Vanos de larga distancia (distancia objetivo 80 km)		Vanos de muy larga distancia (distancia objetivo 120 km)	
	5	8	3	5
Número de vanos				
sistemas de 4 canales	4L5-y.z	4L8-y.z	4V3-y.z	4V5-y.z
sistemas de 8 canales	8L5-y.z	8L8-y.z	8V3-y.z	8V5-y.z <sup>a)</sup>
sistemas de 16 canales	16L5-y.z	16L8-y.z	16V3-y.z	16V5-y.z <sup>a)</sup>
a) La viabilidad de este código de aplicación queda en estudio. b) Las distancias objetivo se utilizan sólo a efectos de clasificación y no para especificación. c) y = 4 ó 16. d) z = 2, 3 ó 5.				

**Tabla. III.2. Códigos de aplicación para sistemas multicanales con amplificadores de línea**

La Tabla III.3. resume los códigos de aplicación para sistemas con amplificadores de línea, estas aplicaciones constan también de 4, 8 ó 16 canales ópticos que se multiplexan ópticamente. Las separaciones entre los amplificadores ópticos de línea son nominalmente de 80 km y 120 km, siendo la distancia total a partir de la cual se necesita regeneración de 360 km a 640 km cuando se utilizan fibras G.652, G.653 y G.655.



Luego de tener una visión general de esta recomendación se va a abordar el espaciamiento de los canales y cuál va a ser la frecuencia central, para esto es importante regirse en la siguiente Tabla dada en la recomendación ITU-T G.692, en donde se muestran varias frecuencias centrales y cuales serían sus espaciamientos de acuerdo a espaciamiento requerido.

Frecuencia en THz	Separación 100 GHz (8 canales o más)	Separación 200 GHz (4 canales o más)	Separación 400 GHz (sólo 4 canales)	Separación 500/400 GHz (sólo 8 canales)	Separación 600 GHz (sólo 4 canales)	Separación 1000 GHz (sólo 4 canales)	Longitud de onda en el vacío en nm
196,1		*					1528,77
196,0	*						1529,55
195,9	*	*					1530,33
195,8	*						1531,12
195,7	*	*					1531,90
195,6	*						1532,68
195,5	*	*			*	*	1533,47
195,4	*						1534,25
195,3	*	*		*			1535,04
195,2	*						1535,82
195,1	*	*					1536,61
195,0	*						1537,40
194,9	*	*			*		1538,19
194,8	*			*			1538,98
194,7	*	*					1539,77
194,6	*						1540,56
194,5	*	*				*	1541,35
194,4	*						1542,14
194,3	*	*		*	*		1542,94
194,2	*						1543,73
194,1	*	*					1544,53
194,0	*						1545,32
193,9	*	*	*	*			1546,12
193,8	*						1546,92
193,7	*	*	*	*	*		1547,72
193,6	*						1548,51
193,5	*	*	*			*	1549,32
193,4	*			*			1550,12
193,3	*	*	*	*			1550,92
193,2	*						1551,72

**Tabla. III.3. Frecuencias centrales de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652**

Por lo tanto cuando se vaya a elegir una frecuencia central se sabrá dependiendo del número de canales en que frecuencias están los espaciamientos, pero en este caso de

diseño, esta característica se va a regir dependiendo del equipo que se va a utilizar como equipos terminales dentro de la red, es decir, a los equipos multiplexores.

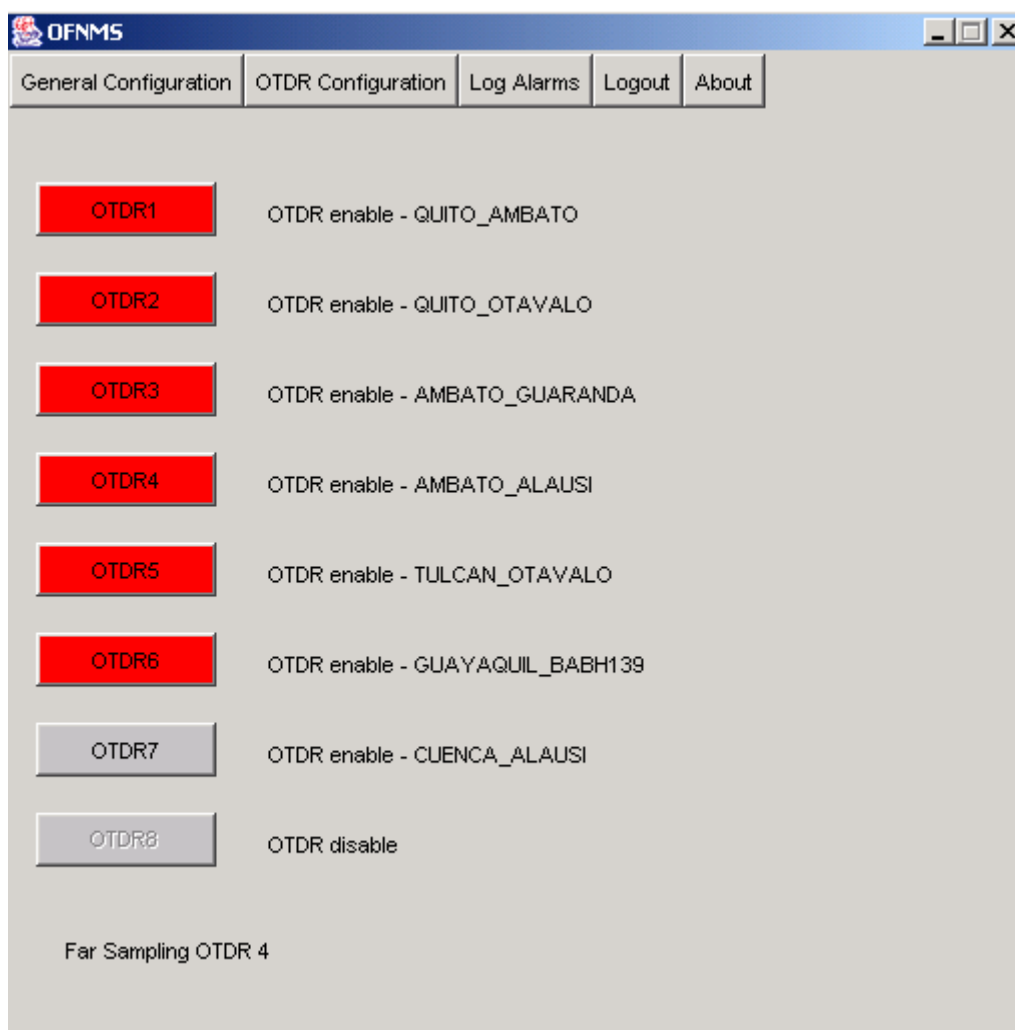
### 3.2. GRÁFICAS OTDR

En el anexo 3 se puede apreciar la cobertura de los OTDRs, los cuales están monitoreando continuamente un hilo de fibra de los 48 que tiene todo el cable (específicamente el hilo 3), esto gracias al programa de propiedad de Siemens llamado OFNMS (Optical Fiber Network Managment System). Este programa fue diseñado para poder medir los niveles de atenuación en todos los trayectos de la Red Troncal de Fibra Óptica, es importante destacar que este programa muestra las gráficas de atenuaciones que trasmite cada OTDR remotamente de acuerdo a su lugar de cobertura. Esta comunicación remota se lo realiza por un canal de 64 Kbps, que es suficiente para llevar toda la información necesaria al centro de gestión, donde se tiene un convertidor de interfaz de G.703 a RS-232 con lo que el programa esta listo para visualizarse en un computador dentro del centro de gestión.

Las graficas que se presenta constan en el eje de la X los kilómetros Km y en el de la Y las atenuaciones en dB, por lo que se tiene una gráfica de Distancia vs. Pérdidas.

En la pantalla principal de OFNMS se puede observar que se tiene siete ventanas, las cuales contienen las atenuaciones por enlaces de acuerdo a la distribución de los OTDRs, en este momento los valores que interesan son del trayecto Quito-Guayaquil, el cual consta de tres enlaces:

1. Quito-Ambato
2. Ambato-Guaranda (Cámara 139)
3. Guayaquil-Babahoyo (Cámara 139)



**Figura. III.1. Ventana principal OFNMS**

Por lo tanto para tener un cálculo de la atenuación total de todo el trayecto es necesario ir sumando en cada enlace las pérdidas que se dan por distintas razones como son: empalmes de fusión, degradación de fibra, conectores, patch cord, refracción y la propia atenuación de la fibra por kilómetro.

A continuación se puede observar los distintos resultados que presenta el OFNMS en cada enlace, en cada caso se va a tener una gráfica que describe las atenuaciones presentadas y una tabla de resultados en las cuales se puede apreciar numéricamente estas pérdidas, es importante recalcar que mediante este programa también podemos saber con exactitud si se produce un corte de fibra a que distancia del nodo más cercano se encuentra la anomalía.

En cada tabla de resumen del respectivo enlace se va a poder observar las pérdidas totales en la columna denominada Total Loss (pérdida total), para poder apreciar y distinguir esta columna tiene un color diferente a las demás con el fin de que cuando se calcule el total de pérdidas en el trayecto Quito-Guayaquil no se tenga inconvenientes.

También se va a notar que en la columna Type Evento (Tipo de evento), se describe el tipo de evento que se presenta en cada punto de la gráfica numerado y distinguido por colores. Al final de cada Figura y Tabla de resumen se tiene las observaciones pertinentes para dar algún tipo de aclaración o para recordar ciertos detalles en cada uno de los enlaces que se van a estudiar.

### 3.2.1. Enlace Quito-Ambato

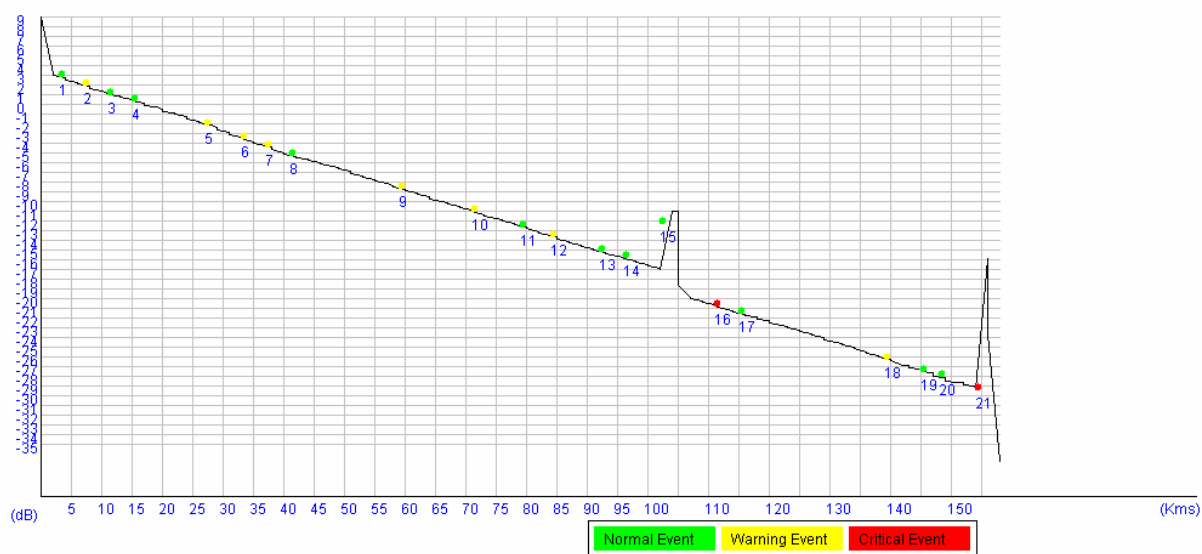


Figura. III.2. Gráfica atenuación Quito-Ambato

Index	OTDR Distance	Real Distance	Splice Loss	dB/Km	Total Loss	Return Loss	Type Event
1	4209	4139	0.055	0.181	-0.764	0	Fusion
2	8051	7916	0.146	0.201	-1.591	0	Fusion
3	12342	12136	-0.142	0.187	-2.532	0	Fusion
4	16470	16195	0.077	0.183	-3.17	0	Fusion
5	28649	28170	0.126	0.203	-5.712	0	Fusion
6	34330	33756	0.061	0.218	-7.089	0	Fusion
7	38417	37775	0.203	0.18	-7.929	0	Fusion
8	42422	41713	-0.123	0.181	-8.867	0	Fusion
9	60118	59113	0.056	0.195	-12.19	0	Fusion
10	72583	71370	0.197	0.187	-14.571	0	Fusion
11	80634	79286	0.093	0.178	-16.203	0	Fusion
12	85089	83667	0.067	0.2	-17.169	0	Fusion
13	93018	91463	-0.053	0.185	-18.693	0	Fusion
14	97064	95441	0.055	0.183	-19.392	0	Fusion
15	103930	102193	1.991	0.169	-20.622	19.444	Reflection
16	112349	110471	0.111	0.261	-24.29	0	Fusion
17	116150	114208	-0.129	0.189	-25.144	0	Fusion
18	140630	138279	0.212	0.193	-29.747	0	Fusion
19	146924	144468	0.263	0.161	-31.026	0	Fusion
20	149131	146638	0.093	0.141	-31.639	0	Fusion
21	155261	152666	0	0.172	-32.921	5.336	Fiber end

**Tabla. III.4. Resumen atenuaciones Quito-Ambato**

Observaciones: Evento 16 = Cruce en ODF Latacunga (PatchCord)

### 3.2.2. Enlace Ambato-Guaranda

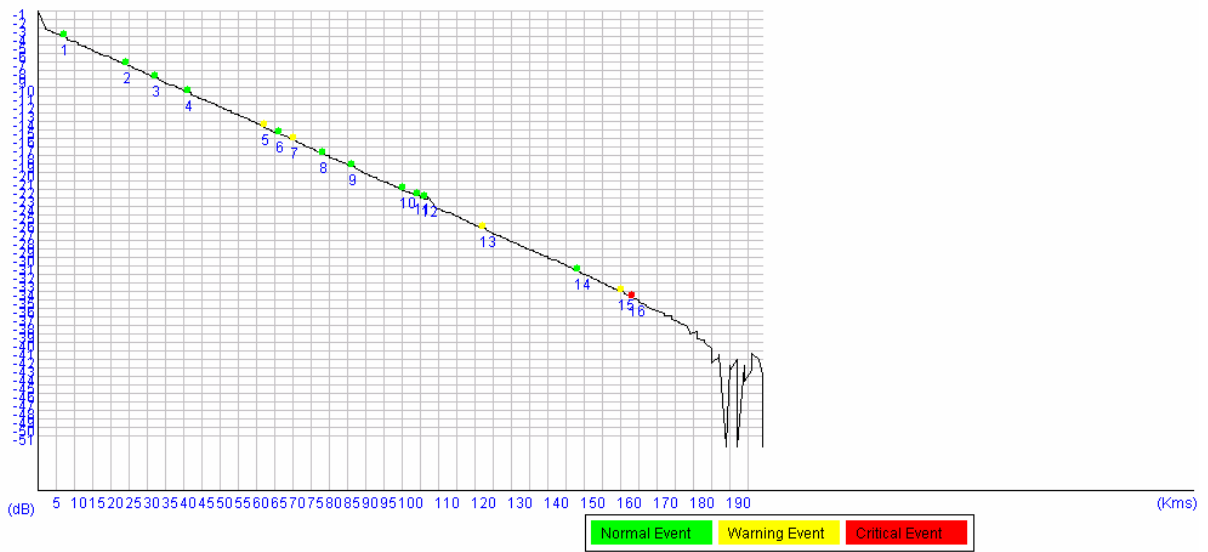


Figura. III.3. Gráfica atenuación Ambato-Guaranda

Index	OTDR Distance	Real Distance	Splice Loss	dB/Km	Total Loss	Return Loss	Type Event
1	8051	7916	0.113	0.179	-1.445	0	Fusion
2	25461	25035	0.053	0.186	-4.773	0	Fusion
3	33921	33354	0.108	0.185	-6.393	0	Fusion
4	42258	41552	0.089	0.179	-7.977	0	Fusion
5	63020	61967	0.15	0.189	-11.972	0	Fusion
6	67352	66226	-0.058	0.179	-12.89	0	Fusion
7	71480	70285	0.131	0.192	-13.628	0	Fusion
8	79653	78322	0.055	0.186	-15.269	0	Fusion
9	87950	86480	0.111	0.18	-16.825	0	Fusion
10	101518	99821	0	0.19	-19.502	0	Fusion
11	105524	103760	0.079	0.181	-20.194	0	Fusion
12	107118	105327	0.441	0.154	-20.524	38.788	Reflection
13	123874	121803	0.118	0.196	-24.095	0	Fusion
14	149458	146960	0.064	0.189	-29.031	0	Fusion
15	161433	158735	0.13	0.199	-31.481	0	Fusion
16	164580	161829	0.136	0.188	-32.19	0	Fusion

Tabla. III.5. Resumen atenuaciones Ambato-Guaranda

Observaciones: Evento 11 = Cruce en ODF Guaranda.  
Evento 19 = Fin de monitoreo en enlace Guaranda Babahoyo

### 3.2.3. Enlace Guayaquil-Babahoyo

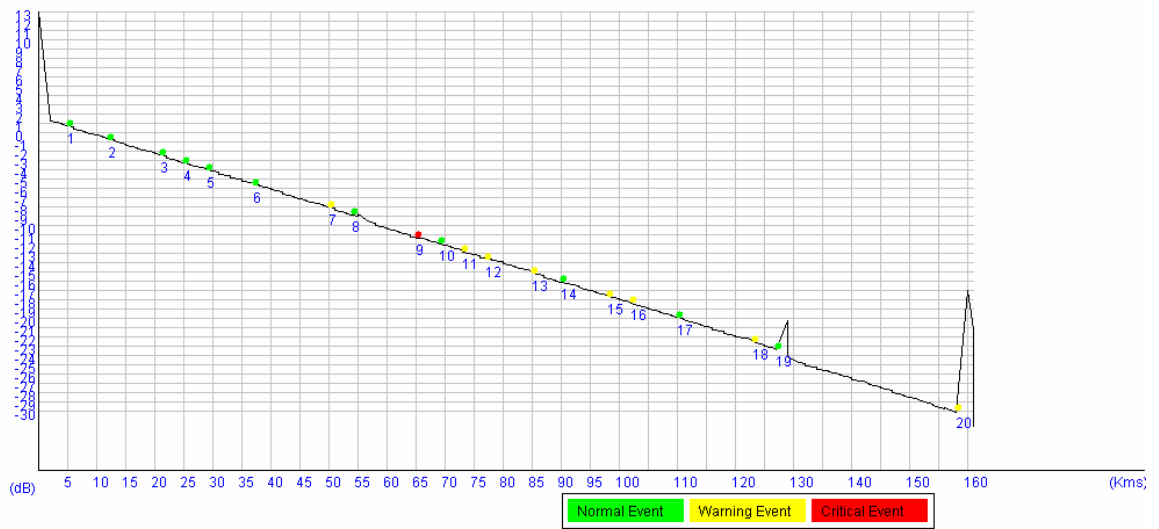


Figura. III.4. Gráfica atenuación Guayaquil-Babahoyo

Index	OTDR Distance	Real Distance	Splice Loss	dB/Km	Total Loss	Return Loss	Type Event
1	4035	3968	0.095	0.195	-0.788	0	Fusion
2	11892	11693	0.135	0.192	-2.379	0	Fusion
3	15673	15411	-0.151	0.195	-3.239	0	Fusion
4	19474	19148	0.108	0.187	-3.801	0	Fusion
5	31796	31265	-0.088	0.19	-6.259	0	Fusion
6	40174	39502	0.14	0.188	-7.738	0	Fusion
7	43913	43179	0.056	0.189	-8.574	0	Fusion
8	52567	51688	0.107	0.182	-10.205	0	Fusion
9	60751	59735	0.316	0.178	-11.775	25	Reflection
10	69028	67874	0.052	0.203	-13.665	0	Fusion
11	73482	72254	-0.094	0.19	-14.56	0	Fusion
12	77528	76232	0.079	0.191	-15.245	0	Fusion
13	83761	82361	0.33	0.191	-16.514	0	Fusion
14	85927	84491	0.067	0.071	-16.962	0	Fusion
15	102295	100585	0.113	0.182	-20.004	0	Fusion
16	110765	108913	0.156	0.183	-21.649	19.22	Reflection
17	116191	114249	-0.108	0.459	-22.95	0	Fusion
18	119164	117172	0.133	0.172	-23.501	0	Fusion
19	133499	131267	0.081	0.176	-26.159	0	Fusion
20	135665	133397	-0.108	0.153	-26.674	0	Fusion
21	137514	135215	-0.45	0.174	-26.896	0	Fusion
22	146842	144387	0.91	0.129	-27.631	0	Fusion
23	151287	148758	-0.791	-0.006	-28.295	0	Fusion
24	162127	159417	1.244	0.15	-29.564	0	Fusion
25	163854	161115	0	0.499	-30.912	0	Fiber end

**Tabla. III.6. Resumen atenuaciones Guayaquil-Babahoyo**

Observaciones: Evento 9 = Cruce en ODF Milagro

Evento 16 = Cruce en ODF Babahoyo.

Evento 19 = Fin de monitoreo en enlace Guaranda Babahoyo



### 3.3. CÁLCULO DE ATENUACIONES

Para el cálculo de las atenuaciones se van a tomar referencia los niveles anteriormente vistos en cada OTRD dados en el OFNMS, primeramente se va a dar las atenuaciones parciales en cada tramo del sistema, como se muestra en la Figura III.5 en donde se puede observar las distancia en kilómetros y los niveles de atenuación en cada tramo, se podría decir que existe una atenuación promedio de 0.20 dB/Km en todo el sistema.

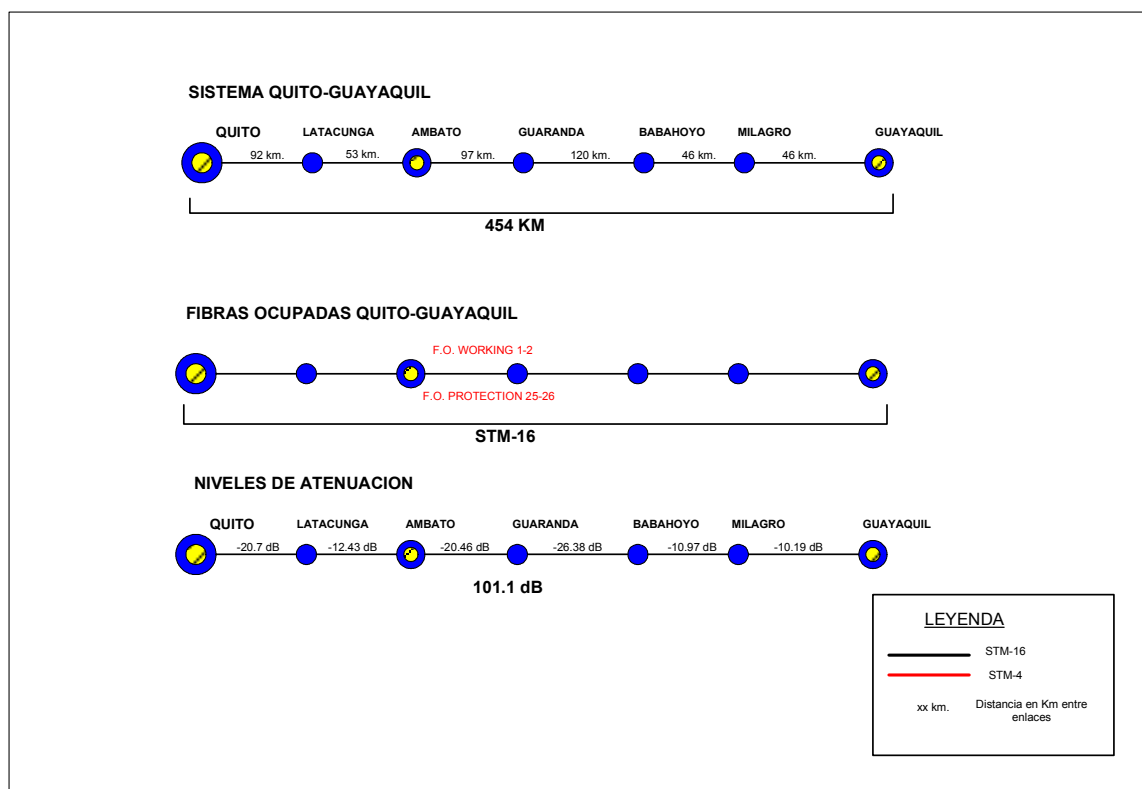


Figura. III.5. Niveles de atenuación sistema Quito-Guayaquil

Se puede notar que se tiene en total una atenuación de aproximadamente 101.1 dB en todo el trayecto, se dice aproximado ya que va a depender de la precisión de los OTDRs para tener un valor constante.

### 3.4. DESIGNACIÓN DE FIBRAS OSCURAS

Antes de comenzar con el diseño de la red es primordial definir el número de fibras a utilizarse y la posición numérica en el cable de 48 hilos, como hemos visto en capítulos anteriores la red SDH actual de ANDINATEL S.A. STM-16 está ocupando para fibras de Transmisión la fibras número 1 y 2, y para la protección la fibra 25 y 26, es importante destacar que también se tiene un enlace STM-4 entre las ciudades de Quito y Ambato y este enlace esta yendo por la fibra número 4 y 5, recordando que para las pruebas de atenuaciones por parte de los OTDRs se realiza por la fibra 3.

Por lo tanto se tendría varias opciones para escoger las fibras para la nueva red DWDM entre Quito y Guayaquil, por precaución se va a tomar fibras de segundo buffer para no interferir en ningún instante y por ninguna circunstancia a la red SDH paralela a la red DWDM, estas fibras son la número 14 y 15, por donde va a pasar la nueva red DWDM con capacidad de hasta STM-64 (10 Gbps).



Figura. III.6. Detalle de fibras oscuras

### 3.5. TOPOLOGÍA ESQUEMÁTICA DE LA RED

#### 3.5.1. Configuración de la Red

Para la configuración de la red es básico definir en donde se van a ubicar los multiplexores de manejo DWDM. Se decide que se van a colocar en las ciudades donde existe mayor demanda de servicios por índices de ocupación vistos en el capítulo I, por lo tanto los nodos van a estar ubicados en la ciudades de: QUITO Y GUAYAQUIL.

En cada nodo existirá un equipo multiplexor óptico capaz de insertar o extraer información de los distintos servicios que están cursando sobre la red DWDM. Y en las localidades de: LATACUNGA, AMBATO, GUARANDA Y BABAHOYO, se implementara equipos que cumplen la función de amplificadores.

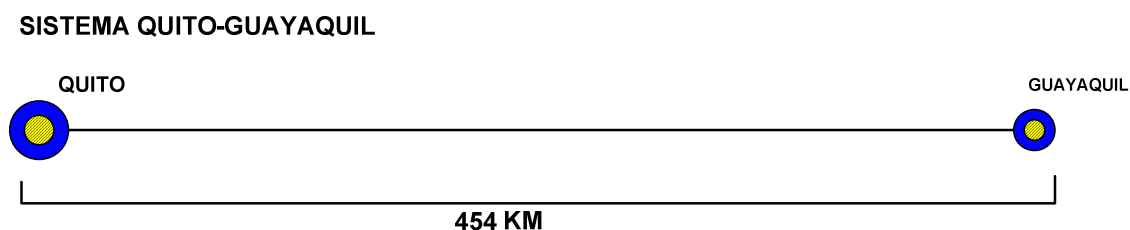


Figura. III.7. Distancias entre nodos

#### 3.5.2. Características de la Red



Figura. III.8. Numero de longitudes de onda en la red DWDM

- 2 nodos: QUITO y GUAYAQUIL
- En cada nodo van a existir multiplexores de adición/extracción (OADM), para poder bajar la información que se transporta y poder brindar todo tipo de servicios de alta velocidad.
- A más de que en cada nodo exista equipos que soporten DWDM, van a existir equipos que puedan bajar la información a tecnología SDH.
- La configuración es punto a punto (point to point)
- Los enlaces son completamente ópticos: no existe regeneradores de la señal en forma intermedia.
- Se requiere 4 longitudes de onda en cada dirección para satisfacer las necesidades y poder tener un enlace STM-64.
- La red va a contar con una protección MSP.
- La red soporta un gran ancho de banda.
- Se necesitan en los puntos intermedios amplificadores ópticos (OA), debido a las grandes distancias que se cubre.
- Por la distancia el enlace va a ser completamente DWDM.
- El diseño de la red se va a regir principalmente a dos normas de la ITU-T: G.652 Y G.962

### **3.6. CONDICIONES TÉCNICAS DE LA RED**

A continuación se va a detallar en forma general las características que tienen que cumplir los equipos de la red DWDM, tanto los multiplexores como los amplificadores, esto nos va a ayudar a tener una mejor visión de la red que se desea implementar y de las características que se va a tener en cuanto es a confiabilidad y al número de servicios que se puedan dar entre estas dos ciudades.

### 3.6.1. Tipos de Interfaces

Interfaces Eléctricas:

- 2 Mbps de acuerdo con G.703 y G.704.
- 34/45Mbps de acuerdo con G.703 y G704.
- STM-1 eléctricas

Interfaces ópticas:

- Deben cumplir con G.957
- A nivel STM-1 debe contar con S-1.1, L-1.1, L-1.2 y L-1.3.
- A nivel STM-4 debe contar con S-4.1, L-4.1, L-4.2, L-4.3, V-4.2 y V-4.3.
- A nivel STM-16 debe contar con I-16.1, S-16.1, L-16.1, L-16.2, L-16.3, interfaz STM-16 para cubrir atenuaciones del orden de hasta 47 dB. Debe incluir interfaces coloreadas STM-16 para conexión a equipos DWDM.

Interfaces LAN/WAN

- 10/100BT Ethernet
- 1000 Base T Ethernet
- 1000 Base SX Gigabit Ethernet, 850 nm para funcionamiento con fibra multimodo.
- 1000 Base LX Gigabit Ethernet
- 100 Base LX Fast Ethernet
- 100 Base FX Fast Ethernet

Será posible utilizar las interfaces STM-N en una sola fibra por medio de splitter. Debe soportar función de Corrección de Error Directa de acuerdo con G.709.

### 3.6.2. Acceso al Overhead

- De acuerdo con G.707
- Conmutación de bytes OH. Debe ser posible el acceso a todos los bytes del overhead SOH de una señal STM-N, SOH número 1. Acceso al POH, byte F2 en los puntos terminales.
- El sistema debe contar con canal de servicio tipo EOW.

### 3.6.3. Protección de Tráfico

Los equipos deben contar con los siguientes esquemas de protección de tráfico:

1. MSP (Multiplex Section Protection) de acuerdo con G.783, con tiempo de conmutación menor o igual a 50 ms, para las siguientes modalidades:
  - Para STM-1 el /op MSP (1:N)
  - Para STM-1 el /op MSP (1+1)
  - Para STM-4 MSP (1:N)
  - Para STM-4 MSP (1+1)
  - Para STM-16 MSP (1:N)
  - Para STM-16 MSP (1+1)
  - Para STM-64 MSP (1:N)
  - Para STM-64 MSP (1+1)
2. BSHR (Bidirectional Self Healing Ring) de acuerdo con G.783 / G.841, con tiempo de conmutación menor o igual a 50 ms, para las siguientes capacidades de anillos:
  - Anillo STM-16 BSHR-2 y BSHR-4
  - Anillo STM-64 BSHR-2 y BSHR-4
  - Soporte de tráfico de baja prioridad para anillos BSHR-2 y BSHR-4.

3. SNCP (Subnetwork Connection Protection) de acuerdo con G.783, para los siguientes niveles:

- VC.4-nc,  $n = 4, 16, 64$ , protección de trayecto 1+1.
- VC-4, VC-4-mv,  $m = 1..64$ , protección de trayecto 1+1.
- VC-3, VC-3-mv,  $m = 1..2$ , protección de trayecto 1+1.
- VC-12, VC-12-mv,  $m = 2..46$  protección de trayecto 1+1.

#### **3.6.4. Protección de Equipo y Tarjetas**

El equipo contará con los siguientes esquemas de protección de equipo y tarjeta:

- Protección de tarjeta 1+1 34 Mbit/s
- Protección de puerto 1+1 STM-1 el/op.
- Protección de puerto 1+1 STM-4.
- Protección de puerto 1+1 STM-16.
- Protección de puerto 1+1 STM-64.
- Protección de tarjeta 1+1 para la matriz de conmutación a nivel VC-4 y VC-12.
- Protección 1+1 de sistema de sincronización.
- Protección 1:N de tarjeta de 2 Mbps,  $N \leq 4$ .
- Fuente de alimentación distribuida en cada uno de los módulos del equipo.

#### **3.6.5. Sistema de sincronización**

Debe permitir las fuentes de sincronismo siguientes:

- Cualquier señal STM-N agregada o tributaria.
- Señal de 2048 kHz (de acuerdo con G.811), recibida en el puerto de sincronismo.
- Entrada T3 de 2048 kbps., incluyendo procesamiento SSMB.

- De un oscilador interno.

El equipo debe contar con las siguientes funciones de sincronismo:

- Re - temporización o “retiming” para las interfaces de 2 Mbps.
- Selección de la fuente de sincronismo de acuerdo con ETSI EN 300 417 1999.
- Selección automática de la fuente de sincronismo a partir de una lista de prioridades y de acuerdo con criterios de calidad definidos en las señales recibidas.
- Supervisión automática de la calidad de la señal de sincronismo.

### **3.6.6. Funciones de Administración y Control**

El equipo multiplexor contará con interfaces para la gestión local y remota de los equipos. Las funciones de gestión de elemento serán idénticas independiente si el sistema se está gestionando local o remotamente, todo bajo el esquema “same look and feel”.

Las interfaces físicas de gestión serán:

- Interfaz F tipo RS232 con 19.200 baudios como mínimo.
- Interfaz 10/100BT Ethernet de acuerdo con IEEE 802.3 para la gestión remota.
- ECC (Embedded Communication Channel) utilizando los bytes DDCr, DDCm y F2 de la trama SDH.

El sistema multiplexor contará con función de túnel IP (IP Tunneling) necesaria para llevar información de gestión equipos de redes existentes en forma transparente. Además el sistema multiplexor será gestionado a nivel de fallas, desempeño, configuración y seguridad de acuerdo con las normas vigentes ITU-T como son ETSI 300 417, G.783, G.784, G.826 entre otras.



### 3.6.7. Arquitectura del Sistema

El diseño mecánico del equipo debe ser de acuerdo con norma europea ETSI, es decir no más de 300 mm de profundidad del rack. La posibilidad de equipamiento espalda a espalda “back to back” es necesaria para una mejor utilización del espacio en las estaciones. El sistema debe permitir la inserción / extracción del tarjetas sin necesidad de herramientas especiales. Será posible la extracción o inserción en caliente de los láseres de salida SFP sobre las tarjetas principales o “Boards”.

Todos los conectores ópticos y eléctricos tendrán acceso frontal. La fuente de alimentación debe estar de acuerdo con ETSI ETS 300 132-2, rango de 40 a 75 Voltios DC. Las protecciones de acuerdo con ETSI IEC609590. Mecanismo Automatic Laser shutdown de acuerdo con G.664.

### 3.6.8. Modularidad de las Tarjetas

Las diferentes tarjetas del equipo deben contar con las siguientes modularidades mínimas:

- 63 puertos por tarjeta de 2 Mbps
- 3 puertos por tarjeta de 34/45 Mbps
- 4 puertos por tarjeta de STM-4 para interfaces con potencia óptica no superior a L-4.2/3 (acc G.957). Las interfaces se equiparán como lasers de salida SFP (Small Factor Pluggable) sobre la tarjeta principal o “Board”.
- 4 puertos por tarjeta de STM-16 para interfaces con potencia óptica no superior a L-16.2/3 (acc G.957). Las interfaces se equiparán como lasers de salida SFP (Small Factor Pluggable) sobre la tarjeta principal o “Board”.
- 1 puerto por tarjeta de STM-64
- 8 x Fast Ethernet
- 4 x Gigabit Ethernet

### **3.6.9. Temperatura de Operación**

De acuerdo con ETSI clase 3.1E, ETS 300 019 1-4.1. Temperatura de operación de -5 a +45 grados.

### **3.6.10. Mantenimiento, Supervisión y Diagnóstico**

El sistema multiplexor debe contar con puntos de monitoreo eléctricos para las interfaces PDH. Igualmente contará con posibilidad de realizar lazos de prueba por medio de la matriz de conmutación. Contará con LEDs indicadores de estado de operación de cada tarjeta o módulo, e indicación de falla en los mismos.

Las características de inventario de los equipos y Módulos estarán grabadas en memorias no volátiles en cada elemento. Entre la información contenida en esta memoria está la versión del controlador de la tarjeta, la versión de SW de la tarjeta, e identificación de fábrica.

## **3.7. SISTEMA DE GESTIÓN REMOTO Y CENTRALIZADO (TMN)**

El sistema de gestión debe contar con las siguientes características generales

- Estará basado en la plataforma Microsoft Windows 2003 o Microsoft Windows XP.
- Basado en arquitectura Cliente / Servidor. El sistema podrá crecer en forma gradual a medida que crezca la red vinculando equipos servidores adicionales si es necesario.
- El sistema de gestión estará en condiciones de ejecutar funciones de administración de fallas, configuración, desempeño y seguridad sobre la red y sus elementos.
- El sistema de gestión contará con funciones en los niveles de
  - a. EML Element Manager Layer
  - b. NML Network Manager Layer
  - c. SML Service Management Layer

### 3.7.1. Interfaz Gráfica de Usuario

El sistema de gestión contará con interfaz gráfica de usuario basada en Microsoft Windows. El sistema podrá funcionar en modo multi-monitor consistente en utilizar varios monitores como una pantalla única. Funciones de arrastre de íconos, “drag and Drop” sobre la pantalla serán posibles.

Los diferentes íconos mostrados tendrán la siguiente información:

- Tipo de elemento de red y su nombre.
- Estado operacional del mismo.
- Indicación de la alarma actual más severa.
- Estado de alarma o no.
- Estado de protección de escritura o no.
- Estado de conexión o desconexión en la red.
- Estado habilitado o no del modo de mantenimiento.

La red será representada gráficamente con la siguiente información:

- Visión topológica de la red o la sección representada de esta.
- Representación jerárquica de la red. Los diferentes elementos se muestran formando parte de un árbol lógico.
- Representación jerárquica de la red DCN (Data Communication Network). Los diferentes canales de comunicación se muestran formando parte de un árbol lógico.
- Barras de herramientas, alarmas y estado del sistema.

### 3.7.2. Funciones de Gestión de Configuración

Al nivel de funciones de configuración el sistema contará – entre otras - con las siguientes funciones:

- Habilitación de la función “write” sobre los elementos de red para posibilitar su configuración por parte del gestor local LCT (Local Craft Terminal).
- Detección automática de trayectos.
- Inserción de nuevos elementos en la red sin afectar los servicios existentes.
- Enrutamiento automático de trayectos extremo a extremo. El esquema de protección SNCP (Subnetwork Connection Protection) debe ser manejado también por el enrutador automático.
- Enrutamiento manual asistido extremo a extremo.
- Manejo estructuras de trayectos con esquemas de concatenación virtual.
- Manejo de mecanismos de manejo de datos como LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme).
- Configuración de servicios como 64 kbps, n x 64 kbps, 2 Mbps, 34 Mbps, 45 Mbps, STM-1/4/16/64, VC-12/3/4, VC-4-4v/c, VC-4-16v/c, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.
- Manejo de trayectos uni y bidireccionales, abierto, cerrados, medio abiertos y tipo “broadcast”. Manejo de los atributos de los trayectos de acuerdo con G.731.
- Manejo de esquemas de protección como MSP (Multiplex Section Protection), SNCP (Subnetwork Connection Protection), BSHR (Bidirectional Self Healing Ring), protección de tarjeta, y otros.
- Representación gráfica del trayecto y sus atributos.
- Generación de listados con información de trayectos en la red, relación de trayectos con sus usuarios y otros.
- Funciones de “loopback”.

### 3.7.3. Funciones de Gestión de Desempeño

Las funciones de administración de desempeño estarán de acuerdo con G.821 y G.826. Los períodos de medición podrán ser de 15 minutos ó 24 horas. La información de desempeño podrá ser exportada a herramientas externas por medio de formatos conocidos. Las funciones de medición de desempeño serán posibles a nivel de elemento de red y a nivel de servicios extremo a extremo sobre la red.

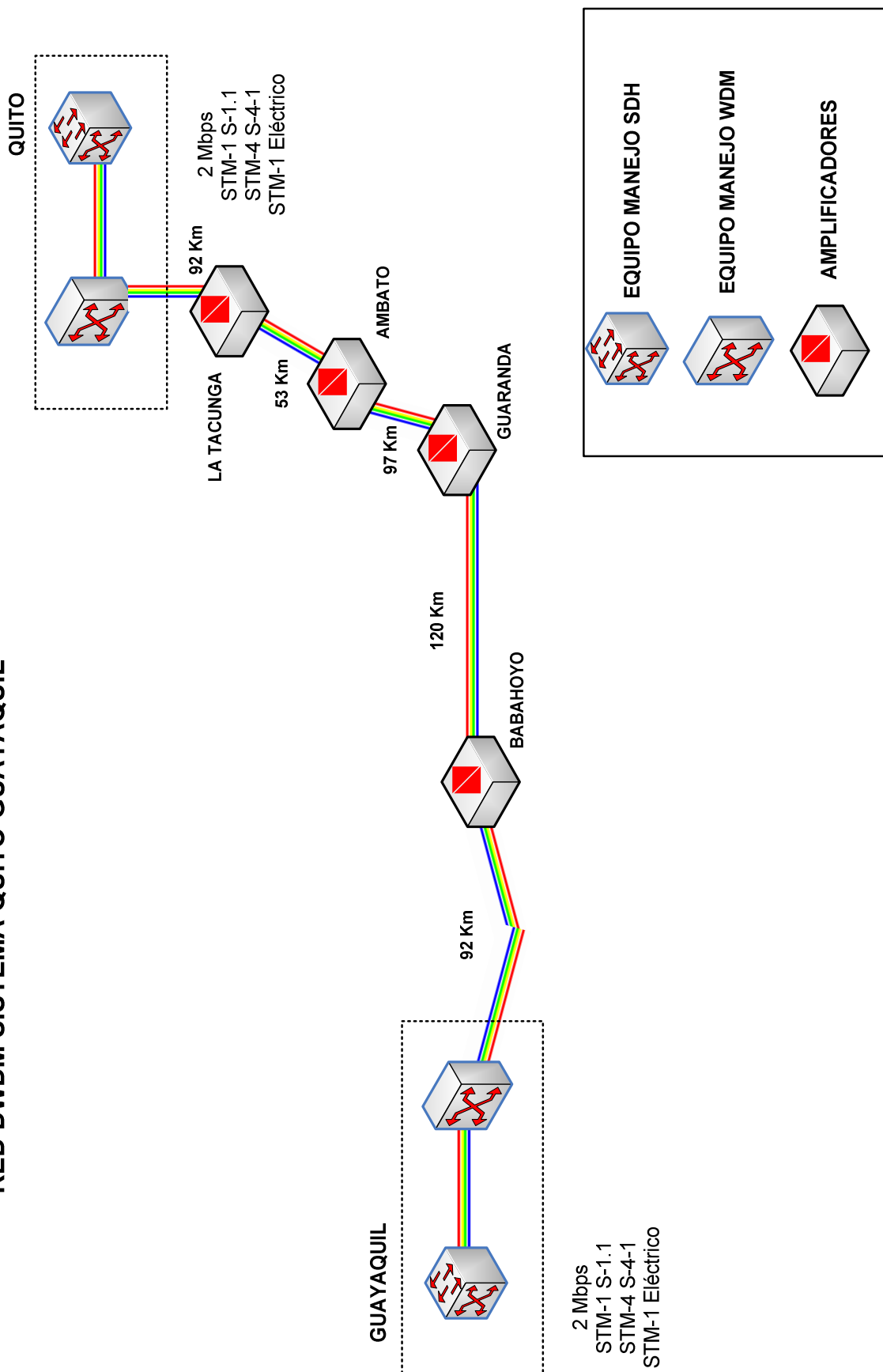
### 3.7.4. Funciones de Gestión de Seguridad

Por tratarse de un sistema de gestión de altas prestaciones, las siguientes funciones de seguridad deben ser soportadas:

- Control de acceso sobre la red por medio de claves.
- Las claves de acceso deben ser encriptadas.
- El administrador de la red puede bloquear cuentas de usuarios si es necesario, adicionar o borrar usuarios, cancelar sesiones de usuarios remotamente, etc.
- El sistema debe soportar el cerrado automático de sesiones.
- Indicación de usuarios haciendo acceso local sobre los elementos de la red.
- Definición de diferentes clases de usuario para diferenciar los derechos de acceso sobre la red.
- Utilización de Software antivirus en el sistema.

### **3.8. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA RED**

**RED DWDM SISTEMA QUITO-GUAYAQUIL**



**Figura. III.9. Red DWDM Quito-Guayaquil**

### 3.9. LISTADO DE EQUIPOS A UTILIZARSE

Los equipos que se van a utilizar en la red DWDM para ANDINATEL S.A. son los siguientes:

- 2 equipos multiplexores de adición/extracción (STM-1, STM-16, STM-64, 10 Gbps).
- 2 equipos de manejo WDM (40 Gbps).
- 4 amplificadores ópticos.
- 24 Patch Core.



## CAPÍTULO IV

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este capítulo se explica las especificaciones técnicas de los equipos que van a manejar la parte WDM, también se van a definir los requisitos específicos referentes a la configuración de los sistemas principales y de cada tarjeta o accesorio asociado. El sistema DWDM requerido para este proyecto deberá reunir los requisitos tanto para redes de área metropolitana como para redes de larga distancia.

A través de estas especificaciones se trata de mostrar la mejor alternativa en cuanto se refiere al multiplexor de división de longitud de onda densa para redes de largas distancia especialmente, aunque se lo puede configurar para redes de área metropolitana. El sistema DWDM será capaz de proveer manejo y canales de protección para los siguientes servicios de transportes:

- Interfaz SDH
- Interfaz de Datos
- Interfaz OTH
- Interfaz LAN

El sistema DWDM será capaz soportar en una sola plataforma la transmisión de datos con anchos de banda de 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps o cualquier combinación de ellos, con el fin de garantizar una red de alta capacidad para ANDINATEL S.A.

Es importante tener en cuenta la longitud del enlace que van a manejar estos equipos y el número de amplificadores que se va a utilizar para tener una visión clara del equipamiento; en cuanto a tarjetas se refiere, en este caso como se vio en el capítulo anterior se va a necesitar 4 amplificadores en una distancia de 454 Km.

El sistema DWDM deberá ofrecer todo en cuanto se refiere a necesidades de plataformas DWDM:

- Redes DWDM ULH (muy grandes distancias) con distancias de más de 3000 Km. Con amplificaciones reforzadas con mecanismos (EFEC) y control de software de potencia que hacen posible lograr la capacidad de ULH.
- Aplicaciones Long haul DWDM con alcance de más de 1500 Km.
- Aplicaciones DWDM regional, con altos volúmenes de tráfico, ya que DWDM es necesario para las necesidades de redes regionales, estas redes tienen longitudes de 100 a 800 Km.
- Aplicaciones de capacidad muy grande (UHC), con 160 canales a 10 Gbps y 80 canales a 40 Gbps disponibles hoy en día.



Figura. IV.1. Tipos de configuraciones que tiene que soportar el equipo de manejo DWDM.

El sistema de manejo DWDM deberá tener las siguientes características generales para poder satisfacer las necesidades de la red de ANDINATEL S.A.

Utilización Máxima de la Fibra: la capacidad de los transponders deberá ser mayor a 3.2 Tbps por cada par de fibras, o sea el equipo debe soportar gran capacidad de información.

Alcance Extendido: Amplificadores ópticos de alto desempeño con refuerzo de EFEC para grandes distancias. Para aplicaciones ópticas el sistema debe soportar dimensionamiento ULH de miles de kilómetros de transmisión solo óptica.

Modularidad: capaz de aumentar su capacidad en forma modular, minimizando los costos de inversión inicial, sin necesidad de adicionar ningún otro equipo.

Costo Bajo de la Red: Dado que debe ser un sistema de última generación, los costos en cuanto a regeneradores eléctricos y amplificadores ópticos van a ser reducidos comparados con sistemas actuales de menor capacidad.

Escalabilidad: Deberá cumplir con el concepto de escalabilidad en cada multiplexor/demultiplexor, requerido para la adición/extracción.

Compacto: El sistema debe brindar una solución DWDM lo más compacta posible tanto en la parte física como en las interfaces.

Diseño de Red Simplificado: con esto se puede reducir en forma significativa el costo de mantenimiento del sistema, y se optimizaría su uso.

Control Óptico: Se refiere a utilizar técnicas para asegurar la calidad de la señal que llega desde el transmisor hasta el receptor.

*Flexibilidad del Tipo de Fibra:* El equipo deberá ser compatible con el mayor tipo de fibras tales como SSMF, NZDF y DSF.

*Flexibilidad OADM:* Con capacidad de adición/extracción del 100 % en todos los puntos intermedios de la red si esta lo tuviera, caso contrario en los puntos terminales.

*Flexibilidad de Servicio:* Con esta característica el equipo deberá soportar servicios basados en SDH, IP o ATM. Con el fin de satisfacer al cliente.

*Soluciones Integradas:* El equipo será capaz de interconectarse con otros equipos de manejo SDH para poder tener un completo sistema DWDM que satisfaga todas las necesidades y proporcione alta capacidad en la red.

*Soluciones Múltiples:* Esta característica se refiere a que el equipo de manejo DWDM se puede equipar de acuerdo con la característica de la red que se vaya a implementar.

*Análisis de Desempeño Óptico:* El equipo deberá constar con todas las opciones para poder ser monitoreado tanto de forma manual o remota para obtener un alto grado de control de toda la red.

*Protección:* el equipo debe brindar tanto protección en tarjetas como en fibras para poder garantizar un servicio confiable para los clientes.

*Manejo de la red:* El equipo se debe poder manejar vía Manejo de la Red de Transporte (TNM), usando lo último en tecnología para tener la más avanzada solución de manejo de la red. Parea el mantenimiento preventivo de la red también se deberá poder manejar el equipo vía LCT (Local Craft Terminal).

*Evolución:* El equipo deberá ser capaz de soportar exigencias futuras como lo es extensión de la red, aumento de capacidad y cambio de topología,

#### **4.1. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL SISTEMA DWDM**

El sistema que debería ser utilizado debería configurarse de manera flexible como un OADM, medio de transporte o regenerador, sin cualquier modificación del hardware al instante que se diseñe para los distintos tipos de configuración, ya sean estos esquemas de protección o como sistemas regeneradores. Es importante especificar que el equipo en general deberá tener la capacidad de ser configurado remotamente.

El equipo DWDM deberá cumplir con los estándares ETSI acerca del montaje de racks y las medidas dadas para estos tipos de equipos. Los equipos amplificadores, splitters, etc., deberán ser organizados en el mismo compartimiento para facilitar su uso en las distintas prestaciones que tenga la red.

En el equipo WDM, todas las conexiones ópticas deberán ser localizadas en la parte delantera para cada módulo. Cada unidad deberá preferentemente tener su propio conversor DC/DC para distribuir la energía.

Por las propiedades físicas de la fibra y de acuerdo a la recomendación de la ITU-T G.652, el sistema deberá soportar una capacidad de 4 canales y podrá ser actualizada a 40 canales sobre un par de fibras.

Los Equipos DWDM que se requiere deberán poder bajar la información de 0% a 100% total de la capacidad de las tarjetas ópticas de línea que se estén utilizando en su equipamiento.

El sistema deberá contar con el ALS (Automatic Laser Shutdown) en caso de que la fibra sea cortada o tenga pérdidas, para que no exista accidentes en el momento de que se este reparando la fibra, y también podrá ser controlado el láser local o remotamente vía LCT (Local Craft Terminal) o por TNM.

Los equipos DWDM deberán ser capaces de interconectarse con otros equipos, a fin de que cumpla con las especificaciones de la ITU que así lo establece. Además el sistema

DWDM deberá obedecer a las especificaciones de la ITU-T G-652 para fibra monomodo, considerando una atenuación de 0.25 dB/Km en una ventana de 1550 nm.

## **4.2. ESPECIFICACIONES RELACIONADAS CON LA ITU-T**

El sistema deberá obedecer a las siguientes recomendaciones de la ITU-T, para garantizar un adecuado funcionamiento y cumplir con todas las normas que las recomendaciones así lo ameriten.

### **4.2.1. Aspectos de arquitectura**

G.871 Armazón para recomendaciones de Red de Transporte Óptica.

G.872 Arquitectura de Redes de Transporte Ópticas.

### **4.2.2. Estructura y Mapeamiento**

G.709: Interfaces de nodo de red para la Red de Transporte Óptico

G.709: Corrección de error directo (FEC)

### **4.2.3. Características Funcionales**

G.664: Procedimientos y Requisitos de seguridad óptica para sistemas de transporte óptico.

G.798: Características del equipo de red de transporte óptico (OTN) de bloque funcionales.

G.873.1: Red de Transporte Óptico (OTN)-Protección Lineal

### **4.2.4. Aspectos de Manejo**

G.874: Aspectos de manejo del elemento de red de transporte óptico.

#### **4.2.5. Desempeño de Error**

G.828: Parámetros de desempeño de error y objetivos tasas de bits sincronizados en ratas digitales.

G.8251: Control del Jitter y Wander dentro de la red de transporte óptica.

#### **4.2.6. Aspectos de la Capa Física**

G.691: Interfaces ópticas para sistemas SDH de canal simple con amplificadores ópticos, y sistemas STM-64 y STM-256.

G.692: Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos

G.694.1: Rejas espectrales para aplicaciones WDM.

G.664: Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte.

G.959.1: Interfaces de capa física de red de transporte óptica.

G.652: Características de un cable de fibra óptica monomodo.

### **4.3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DWDM**

Los equipos del sistema DWDM deberán cumplir con los siguientes requerimientos para que la red sea óptima:

Los equipos del sistema DWDM deberán poder desenvolverse fácilmente desde una topología punto a punto sin protecciones, hasta una topología de anillo completo de 40 longitudes de onda con protección y no deberán presentar ningún tipo de interrupción o cambio en los servicios, ni modificar el concepto operacional o el manejo de la red.

Los equipos OADM (Multiplexores Ópticos de Adición/Extracción) deben tener la menor pérdida óptica para los canales ópticos en tránsito. Estos equipos deberán ser capaces de transportar 4 longitudes de onda y tener un 100 % de capacidad de adición/extracción.

Los equipos DWDM deberán soportar un ancho rango de topologías de red como las siguientes.

- a) Configuración Punto a Punto
- b) Punto a Punto con OADM lineal
- c) Anillo DWDM con OADMs.

Los equipos de manejo DWDM deberán ser capaces de soportar y ofrecer transporte para los siguientes servicios:

- a) Gigabit Ethernet modo SX o LX
- b) Protocolos de almacenamiento de red tales como: FC, FC-P1, ESCON y FICON
- c) Tasas de SDH de STM-N ( donde N= 1,4,16,64 y 256)
- d) OTU-n (donde n=1,2)
- e) Cualquier señal con tasa de bit = 50 Mbps - 2.5 Gbps

#### **4.4. SISTEMA DE PROTECCIÓN DWDM**

##### **4.4.1. Protección de la Red DWDM**

El equipo de manejo DWDM deberá proporcionar canal óptico, tarjetas y mecanismos de protección para asegurar alta confiabilidad requerida para varias aplicaciones. El sistema DWDM será capaz de proporcionar protección óptica O-MSP en la configuración punto a punto y también deberá ser capaz de proporcionar protección óptica OCH-SNCP en las configuraciones en anillo y lineal de adición/extracción.

El sistema podrá detectar e iniciar la conmutación a protección (cambio working to protection) en el caso de alguna fallas en un tiempo menor a 50 ms. Además de la protección por conmutación deberá garantizar una protección canal por canal en cada longitud de onda en todo el camino óptico, incluyendo en los transponders de transmisión



y recepción. Para complementar el sistema deberá monitorear pruebas de funcionalidad tales como pérdida de luz y control de la tasa de bit.

#### **4.4.2. Protección de Hardware DWDM**

Los equipos deben tener doble redundancia de alimentación de energía para los -48 V de uso. La alimentación de poder deberá ser en protección 1+1 y no deberá afectar el trabajo normal del equipo.

El sistema proporcionará protección en las tarjetas tanto 1+1 o 1: N (protección en la capa del cliente) en el modo de espera (host stanby) y puede cambiar de de una tarjeta a otra que estén en el modo de espera en el caso de que la una falle en menos de 50 ms.

#### **4.5. INTERFACES Y TARJETAS DWDM**

Los equipos DWDM serán capaces de soportar las siguientes tarjetas para apoyar todos los protocolos de las especificaciones técnicas que estos deben cumplir para conformar la red.

- a) Tarjeta de 2.5 Gbps
- b) Tarjeta de 10 Gbps compatible con la ITU-T G.709 UNI y aplicaciones NNI, soportando STM-64, 10 GBE WAN.
- c) Tarjeta de múltiple tasa de 100 Mbps a 2.5 Mbps para FE, FC, PC-P1, ESCON, FICON, Video Digital, STM-1, STM-4 y STM-16.
- d) Tarjeta de multiplexación de 2.5 Gbps a 10 Gbps para STM-16 y OTU1. ITU-T G.709
- e) Tarjeta de 40 GBps para STM-256.

Todas las tarjetas deberán ser compatibles con la recomendación de la ITU-T G.709, que esta asociada a aplicaciones UNI y NNI y serán las mismas configurables para señal de regeneración 3R.

Las tarjetas deberán ser capaces de interconectarse con equipos terminales para varios protocolos y pueden ser mapeados dentro del apropiado rango espectral implementado por la ITU-T G.692.

Será posible mezclar servicios de 2.5 y 10 Gbps juntos en el mismo sistema DWDM sin ninguna restricción. También deben asignarse 2.5 y 10 Gbps a cualquier longitud de onda sin ninguna restricción.

Las tarjetas deberán apoyar al sistema monitoreando su desempeño, basadas en el monitoreo de byte B1 para tráfico SDH.

La tarjeta de múltiple tasa deberá soportar todas las tasas de bit desde 100 Mbps a 2.5 Gbps, incluyendo: Fast Ethernet, FDDI, Video Digital, STM-1, STM-4, Gigabit Ethernet y STM-16.

Para la tarjeta de múltiple tasa, la tasa de bit puede ser provicionada de forma remota por el Manager de la Red para controlar en ancho de banda. La actualización de la tasa deberá estar en servicio y totalmente manejado por software.

Las tarjetas DWDM deberán tener un atenuador óptico variable (VOA) para ajustar la potencia de salida óptica por el equilibrio del canal, el control automático de la ganancia y el ajuste de la potencia de canal para poder tener una óptima longitud de onda.

Las tarjetas deberán ser configurables en forma remota por quién este manejando la red y pueden usarse para las siguientes aplicaciones:

- a) Control de Tráfico adición/extracción
- b) Regeneración O/E/O
- c) Lazos locales y remotos ( Para probar e identificar una falla)

Las tarjetas contarán con conectores FC/PC, SC/PC o interfaces ópticos SFP. Sin embargo los módulos SFP con conectores LC o SC son recomendados para tener un mínimo de pérdida en los conectores.

#### **4.6. FEC (CORRECCIÓN DE ERROR DIRECTA)**

Las tarjetas del equipo DWDM deben tener Código de Error Delantero proveyendo alta ganancia de código para obtener mayores desempeños, con el fin de disminuir los errores en el momento de enviar información (voz, datos, video) de un lugar a otro. Es un factor muy importante a tener en cuenta en cuanto a confiabilidad de información se refiere.

#### **4.7. PRESUPUESTO ÓPTICO Y AMPLIFICACIÓN ÓPTICA**

El sistema DWDM soportará “balanceo de la potencia del canal” para todos los canales ópticos en la salida de un nodo para ajustarlo al nivel de potencia adecuada para optimizar su transmisión. El sistema deberá ajustar automáticamente la potencia de lanzamiento con los límites especificados para cada longitud de onda en el momento de la adición y extracción para todos los canales del mismo. El equilibrio de potencia de canal deberá ser aplicado a todos los canales, independientemente del camino del canal en el nodo donde haga su cambio a otro canal.

#### **4.8. AMPLIFICADORES ÓPTICOS**

Los equipos DWDM deberán soportar la compatibilidad con amplificadores ópticos o tener tarjetas de amplificación óptica en aplicaciones de largo alcance (long haul). Además deberán tolerar el OSNR y PMD. Los equipos de amplificación deben ser capaces de proveer amplificación óptica en toda la capacidad del sistema, con un máximo de 40 canales (para aplicaciones futuras).

Los amplificadores ópticos deberán ser amplificadores “EDFA” (amplificador de fibra dopado de Erbium) con alta tolerancia y proporcionará una ganancia nominal óptica de por lo menos 24 dB sin compensación DCM en la fibra G.652. Los amplificadores ópticos

podrán ser usados en diferentes aplicaciones: como amplificadores de línea o pre-amplificadores.

Los amplificadores deben ser amplificadores de doble estado que puedan acomodarse a la capacidad del canal así este lleno y todavía puedan asegurar el paso óptico a través del canal sin requerir regeneración O/E/O (óptico-eléctrico-óptico)

El sistema de amplificadores deberá soportar a total monitoreo capacidad de medida en todo el trayecto de la red en donde consten amplificadores como equipos intermedios.

Los amplificadores deberán tener puertos externos disponibles para monitorear el rendimiento de la potencia de entrada y salida del pre-amplificador y del booster. Así también estos monitoreos deberán ser posibles de forma remota tanto en la entrada y salida del sistema de amplificadores.

Los amplificadores deberán ofrecer la opción de ALS (apagado automático de láser) en el caso de que la fibra se rompa de acuerdo con las recomendaciones de la ITU-T G.664. Así también los amplificadores deberán restablecer su funcionamiento sin ningún problema cuando la fibra sea reparada y este en óptimas condiciones.

Es importante recalcar que la tarjetas o tarjetas de amplificación deberán estar colocadas en la misma fila del rack que los otros módulos del sistema DWDM tales como tarjetas MUX/DEMUX, filtros y tarjetas de bomba.

#### **4.9. COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA**

Para la aplicación de larga distancia que es el caso de la red propuesta entre Quito y Guayaquil el sistema que maneje la parte DWDM deberá soportar módulos de compensación de dispersión (DCMs) con una gradualidad que asegure una apropiada compensación que pueda lograrse fácilmente. Los módulos DCM serán de tipo delgado y pueden ser montados en el mismo rack del DWDM. El sistema debe ser capaz de soportar una combinación de amplificadores, usando DCMs en conjunto con amplificadores EDFA

para superar la limitación de dispersión de la fibra G.652. La distancia máxima (500 Km) se tomará en cuenta con un margen de atenuación del cable de 5 dB.

La tarjeta de 2.5 Gbps del equipo de manejo DWDM deberá tener una tolerancia de 3200 ps/nm de dispersión cromática en la fibra de ANDINATEL S.A. G.652. Para las tarjetas de 10 Gbps se deberán usar los módulos de DCM para el manejo de dispersión.

Los módulos DCM deberán ser colocados en el mismo rack normado por ETSI del sistema DWDM, y deberá ser instalado en la parte inferior de una arquitectura típica de rack.

## **4.10. SISTEMA DE MANEJO DE LA RED DWDM**

### **4.10.1. Características Generales del Sistema NMS**

El sistema de gestión debe proveer toda la información necesaria, es decir el número máximo de los elementos de la red (NEs) que pueden manejar sin ninguna degradación en el funcionamiento del sistema. En este caso se estaría hablando de un número de 8 elementos de red, esto incluye 2 equipos de manejo DWDM, 2 equipos de manejo SDH y 4 amplificadores ubicados en los puntos intermedios como se vio en el capítulo anterior. El manejo que se ofrezca deberá ser total y con un ambiente amigable para que el usuario tenga total manejo de toda la red DWDM de ANDINATEL S.A.

### **4.10.2. Licencia**

El sistema NMS deberá contar con una licencia, la cual pueda permitir la instalación en todos los computadores de la red, sin que exista restricción alguna. La misma debe permitir el manejo total de la red y su uso ilimitado sin necesidad de adquirir otra licencia.

### 4.10.3. Manejo de las Capas

Las funciones del sistema deben estar de acuerdo con las siguientes características para tener el manejo y gestión de la red:

- a) Capa de Elemento de Red: Incluye el manejo de la configuración del elemento de red, de las alarmas, de los funcionamientos, etc.
- b) Capa de manejo de Red: Incluye el manejo de la conectividad de la red, protecciones en varias topologías y dominios de cross conexiones.
- c) Capa de manejo de Servicio: Incluye el manejo de los servicios ofrecidos al cliente: direccionamiento, manejo del servicio, manejo de cuentas, desarrollo del servicio, planeamiento.
- d) El NM tendrán la facilidad para modificar las funciones para requisitos particulares para cada grupo de usuario que se encuentre en el NMS.

### 4.10.4. Referencias y Estándares

El NMS deberá satisfacer los requisitos especificados según las recomendaciones más relevantes de ITU-T, y/o cualquier otro estándar relevante, según lo que se va a indicar a continuación:

M.3010 (02/00): Principios para el Manejo de una Red de Telecomunicaciones.

M.3013 (02/00): Consideraciones para el Manejo de una Red de Telecomunicaciones.

M3020 (02/00): Especificaciones de interfaces TMN.

M.3400 (02/00): Funciones del Manejo TMN.

Q.811: Perfiles de protocolo de capa inferior para las interfaces Q3 y X

Q.812: Perfiles de protocolo de capa superior para las interfaces Q3 y X

X.711: Protocolo de Información de Manejo Común

X.720: Tecnología de la información - Interconexión de sistemas abiertos - Estructura de la información de gestión: Modelo de información de gestión

X.710: Protocolo de Información de Gerencia Común

X.721: Tecnología de la información - Interconexión de sistemas abiertos - Estructura de la información de gestión: Definición de la información de gestión

X.722: Revisión de las directrices para la definición de objetos gestionados para incluir ASN.1:1997

#### **4.10.5. Recomendaciones Ópticas de Manejo de la Red**

G.874: Aspectos de la gestión de elementos de la red óptica de transporte

G.874.1: Red óptica de transporte: Modelo de información de gestión independiente del protocolo para la visión del elemento de red

#### **4.10.6. Manejo de Interfaces**

La información del manejo de la red será transmitida vía un canal de supervisión óptico (OSC). En caso de que existan configuraciones de anillo, el sistema pueda cambiar a la otra dirección del anillo sin ningún disturbio en tráfico del manejo de la red. El sistema podrá apoyar su función de mantenimiento de forma remota a través de un módem, de TCP/IP o del DDN a través de telnet o de la Web.

#### **4.10.7. Interfaz Gráfica para el Usuario**

El NMS deberá tener una sola vista gráfica de todos los elementos de Red. El NMS tendrá la facilidad de partir geográficamente cada elemento de red, para poder agrupar al usuario en subgrupos independientes. Dentro de cada subgrupo, muchos niveles de usuario deben ser posibles es decir dentro un subgrupo debe haber un usuario admin. (Administrador), un usuario operador, y un usuario de la vista-solamente.

El interfaz gráfico utilizado permitirá que los usuarios manejen la red a través de una red de múltiples niveles de ventana, es decir de una ventana secundaria que muestre los mapas de la red.

La red Administrada será representada gráficamente, como una ventana de mapa de red, y mostrará lo siguiente:

- a) Nodos DWDM
- b) Enlaces Ópticos
- c) Rutas y Servicios usando el manejo de enlaces ópticos
- d) Alarmas producidas en los enlaces ópticos
- e) Listas de puertos, enlaces, rutas y servicios

#### **4.10.8. Funciones Gráficas del Usuario**

El sistema NMS deberá permitir que los usuarios realicen, pero no restrinjan, las siguientes operaciones en la red y los mapas secundarios de la red:

- a) Crear, borrar y mover nodos (NEs)
- b) Crear, borrar, enlaces ópticos para todo tipo de servicios
- c) Modificar el nombre de nodos ya existentes, enlaces ópticos, etc, todo esto sin que exista inconsistencias en la red
- d) Observar las condiciones de las alarmas en los NEs y en los enlaces

El interfaz gráfico del usuario proporcionará menús de conexión en cascada y una visualización gráfica de la disposición de los equipos que permitan que los usuarios ejecuten tareas operacionales vía entradas al menú y o vía procedimientos de teclado.



#### **4.10.9. Configuraciones de Protección**

El sistema NMS permitirá la puesta en práctica del siguiente mecanismo de protección:

- a) 1+1 O-MSP (Protección de la Sección del Multiplex)
- b) OCH-SNCP para cada canal óptico

#### **4.10.10. Manejo de Cross conexiones**

El operador del NMS deberá poder hacer lo siguiente:

- a) Crear los diferentes tipos de cross conexiones (adición/extracción, directos, etc)
- b) Modificar las conexiones de adición/extracción.
- c) Configurar el modo de protección de cualquier conexión
- d) Activar/desactivar la protección de una conexión
- e) Listado de cross conexiones existentes
- f) Desplegar las existentes cross conexiones de un canal óptico

#### **4.10.11. Localización de Alarmas**

- a) Las alarmas del equipo podrán ser localizadas en los slots de las tarjetas y a nivel de puertos de un rack específico, en cualquier nodo de la red.
- b) Las alarmas que son debido a fallas en la ruta o enlaces deberán ser localizadas en los canales ópticos.

#### **4.10.12. Colores de las Alarmas**

- a) Las alarmas deben tener un código de color, cada color deberá representar un nivel de jerarquía de alarma.

- b) Las alarmas que puedan ocurrir en la red, debido a fallas del equipo, serán mostrados en el mapa de la red con el color que representa la severidad del alarmar.
- c) Los colores de las alarmas desplegadas en el mapa de la red, deberán ser dinámicamente actualizados par indicar el estado actual de la alarma en la red.

#### **4.10.13. Despliegue de las alarmas**

El sistema NMS deberá proveer a los usuarios una lista que muestre un resumen de las alarmas activas, alarmas que ya se normalizaron y seguirá el siguiente patrón:

- a) Se deberá ver una sola lista de alarmas de toda la red
- b) Un único número secuencial y descripción para cada alarma
- c) Identificativo de cada alarmas
- d) Time y fecha en que ocurre la alarma
- e) Nombre del nodo y modulo afectado
- f) Tiempo y fecha cuando termina la alarma

#### **4.10.14. Manejo de Seguridad**

El acceso ilegal al sistema NMS será prevenido; todos los usuarios tendrán identificación propia y cada una con su clave correspondiente, lo cual definirá su nivel de acceso al sistema NMS. Este sistema de calve servirá para poder controlar el acceso al control de la red, ya que no todos podrán tener un control total de la red, por motivos de sabotaje o por pérdidas de información confidencial. Más específicamente un usuario o un grupo de usuarios asignado a un dominio específico tendrán diverso nivel de la autorización (es decir diversas funciones y privilegios).

El acceso local vía Terminal (LCT) a cualquier elemento o nodo manejado por la red será indicado en el sistema NMS, y solo se tendrá privilegios completos si se le da

permisos de escritura desde el centro de gestión. El sistema NMS ofrecerá la opción de detectar cuando un usuario se conecte a un equipo localmente.

Para completar el funcionamiento, el sistema NMS tendrá un registro de todas las actividades que realicen cada usuario que ingrese en la red, para tener un control de acceso y actividades dentro de la red.

#### **4.10.15. DCN (Canal de Comunicación de Datos)**

El sistema debe ofrecer varias opciones para poder establecer conectividad entre los elementos de red y la plataforma NMS, en caso de que existieran fallas en el canal óptico, una alternativa es un canal que maneje la red propia.

El sistema DWDM deberá tener la propiedad que conmutar a la red DCN y seguir manteniendo la conectividad de supervisión y operación de toda la red sin ninguna interrupción en el tráfico durante la conmutación. Con esto se garantiza que la red va a estar monitoreada siempre un 100 % a pesar de que existan fallas dentro de la red.

#### **4.11. SURPASS HIT 7500 3.X**

El SURPASS hiT7500 3.x es un equipo DWDM, de propiedad de Siemens, que fue evolucionando de algunos modelos de la familia SURPASS. El SURPASS hiT7500 3.x introduce nuevas características comparadas con anteriores versiones y es por eso que se ha tomado en cuenta como una sugerencia para ser el equipo adecuado en la implementación de la red DWDM entre Quito y Guayaquil de ANDINATEL S.A.

Este es un equipo que por una parte soporta una alta capacidad, y alto desempeño en aplicaciones DWDM LH/ULH con más de 80 canales en distancias que superan los 3000 Km.

- Protección automática para la parte del MUX
- Nuevos Transponders que soportan ULH
- Optimiza el control continuo de los enlaces y tienen un alto grado de rapidez en la actualización.
- Integración de 40 Gbps

Por otro lado este equipo, un costo beneficio sorprendente para todos los posibles clientes que deseen implementar una red DWDM en largas distancias y que deseen brindar servicios de alta capacidad.

La flexibilidad, escalabilidad y modularidad del SURPASS hiT7500 ha hecho que se uno de los sistemas DWDM más compactos y poderosos que hoy reúne los requisitos de capacidad para el futuro. Muchas empresas hoy en día han escogido a este sistema de manejo DWDM para sus redes gracias a las grandes posibilidades que les brinda.

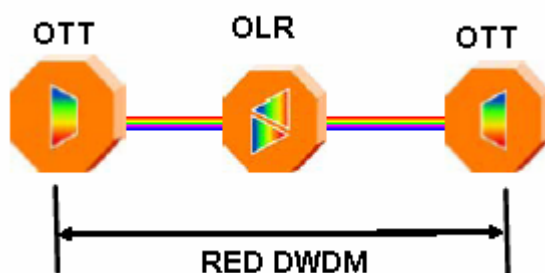
El SURPASS hiT7500 ofrece una capacidad escalable que 160 canales de 10 Gbps en la banda C y en la banda L. Y va a depender del tipo de fibra que se utilice para que se pueda transportar cierto número de canales, se podría decir que ese va a ser su limitante.

Una de las características principales es su total compatibilidad con equipos de manejo SDH de la familia de los SURPASS hiT 70xx, lo cuál hace que los costos se reduzcan considerablemente y así como el uso de quipos será el mínimo posible. Otra característica es que gracias a sus diversidad de transponders puede ofrecer soluciones a distintas necesidades con es la del caso de la red de ANDINATEL S.A., que necesita una capacidad de 10 Gbps. Esto se hará posible mandando cuatro longitudes de onda, cada una de 2.5

Gbps. Adicionalmente el SURPASS hiT 7500 es de tamaño pequeño, tiene bajo costo operacional y costos de equipamiento mínimo, por lo que lo hace ser un equipo adecuado para la red DWDM de ANDINATEL S.A.

Los tipos de elemento de red que esta compuesto el SURPASS hiT 7500 son:

- SURPASS hiT 7500 OTT (Terminal de Transporte Óptico)
- SURPASS hiT 7500 100 % OADM
- SURPASS hiT 7500 OLR (Repetidor Óptico en Línea)
- SURPASS hiT 7500 OCU (Unidad óptico de canal)



**Figura. IV.2. Diagrama Red DWDM utilizando SURPASS hiT 7500**

El SURPASS hit 7500 puede ser implementado en cualquier tipo de topologías de red: punto a punto, anillo o combinada (mesh). En combinación con cualquier otro equipo de la familia de Siemens que maneje SDH, puede manejar todo tipo de protecciones tales como 2-fibra y 4-fibras BSHR, MSP o SNCP. También ofrece protecciones ópticas 1+1.

En cuanto se refiere a amplificadores ópticos ofrece el Repetidor óptico en línea (OLR), que es una solución para redes DWDM de larga distancia en sistema de transmisión de 10/40 Gbps. Los amplificadores ópticos están provistos con amplificadores dopados de Erbium (EDFA). El SURPASS hiT 7500 utiliza una banda ancha, donde todos los canales son amplificados simultáneamente, en distancias ópticas de mas de 3000 Km y permiten

tasas de bit en longitudes de onda individuales de hasta 40 Gbps. Gracias a la tecnología aplicada en los amplificadores hacen que estos sean de bajo costo comparados con anteriores versiones y hacen que la red contenga solo los amplificadores necesarios para dar el servicio requerido.

Para analizar el desempeño óptico el SURPASS hiT 7500, utiliza una tarjeta óptica basada en la potencia (OPAP), que se puede incorporar en el mismo rack como cualquier otro módulo. El OPAP ofrece características ópticas completas para monitorear el funcionamiento, y es comparable al monitoreo de SDH en términos de manejo de registros. Permite al usuario monitorear la conexión óptica a un alto nivel, con gran exactitud, con la finalidad de mantener al sistema sin fallas.

Como tendencia de todas las redes ópticas, la protección también debe ser en el dominio óptico, en donde están disponibles los esquemas de protección tradicionales de SDH. Esto ya que las empresas hoy en día deben brindar un servicio garantizado para cualquier señal dentro de la red DWDM.

El SURPASS hiT 7500 presentan como protección: la protección de canal óptico 1+1 con el fin de proveer un esquema de protección con las mismas características que se hace en el dominio óptico con SDH, Siemens ofrece el módulo de protección de canal óptico 1+1 (OCP), que es basado en el esquema de protección 1+1 MSP de SDH. Se debe tomar en cuenta que para proteger cada canal óptico, en una infraestructura DWDM es necesario duplicar el número de caminos (número de fibras).

En el SURPASS hiT 7500, el módulo OCP recibe la señal de entrada por parte del cliente, y lo divide la señal en dos caminos llamados working y protection, los cuales son enviados al sistema DWDM por sus apropiados transponders. En la parte final de la señal, un conmutador inteligente determina cuál señal debe ser evaluada si la de protección o la de trabajo en el camino DWDM. La protección óptica es ofrecida para 100Mbps hasta 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps. El criterio de conmutación va a depender del uso que le de el

cliente, si se utiliza este sistema de protección, si se produce pérdida en le camino de trabajo, la señal conmuta a protección en menos de 50 ms.

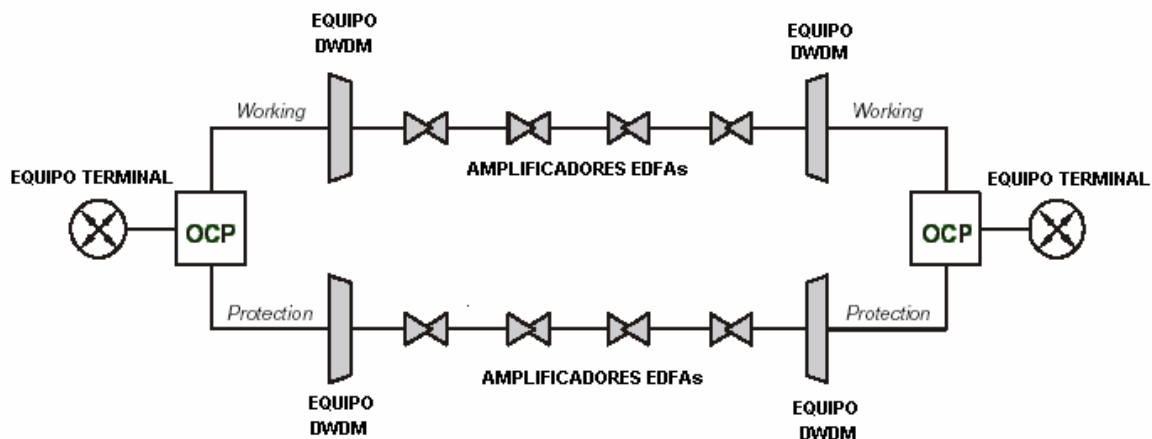


Figura. IV.3. Protección OCP

El Sistema de Manejo de la Red de Telecomunicaciones TNMS Core, es la solución que propone Siemens para gestionar redes DWDM en todos sus tipos y en cualquier configuración. El TNMS Core/CDM soporta elementos de Red PDH, SDH y DWDM con lo que abarcaría todos los requerimientos que debe tener el programa para gestión de la red de ANDINATEL S.A. Es un sistema robusto y escalable que permite tener un ambiente gráfico en el cuál es usuario puede gestionar toda la red DWDM de forma remota independiente de donde se ubiquen los equipos, tiene una ventaja que es compatible y maneja equipos de diversas marcas, en este caso maneja de forma óptima al SURPASS hiT 7500.

El TNMS puede soportar hasta 10 Net-Server con un máximo de 4000 ADMs, más de 30 clientes utilizado el programa en forma simultánea, el TNMS Core/CDM soporta el manejo de los siguientes equipos DWDM, SDH y PDH:

- SURPASS hiT 7500
- SURPASS hiT 7050 and 7070 (Equipos de Nueva Generación basados en plataformas de servicios múltiples).
- Equipos SDH Siemens; cross-conectores (SXA/SXD), Multiplexores sincronizados (SMA serie 2, SMA 1K serie3, SMA 16 serie 4), equipos sincronizados en línea (SLT/D 16 serie 2, SLR 16 serie 2, SL64 serie 3)
- Siemens PDH Access equipment (e.g. FMX / CMX)

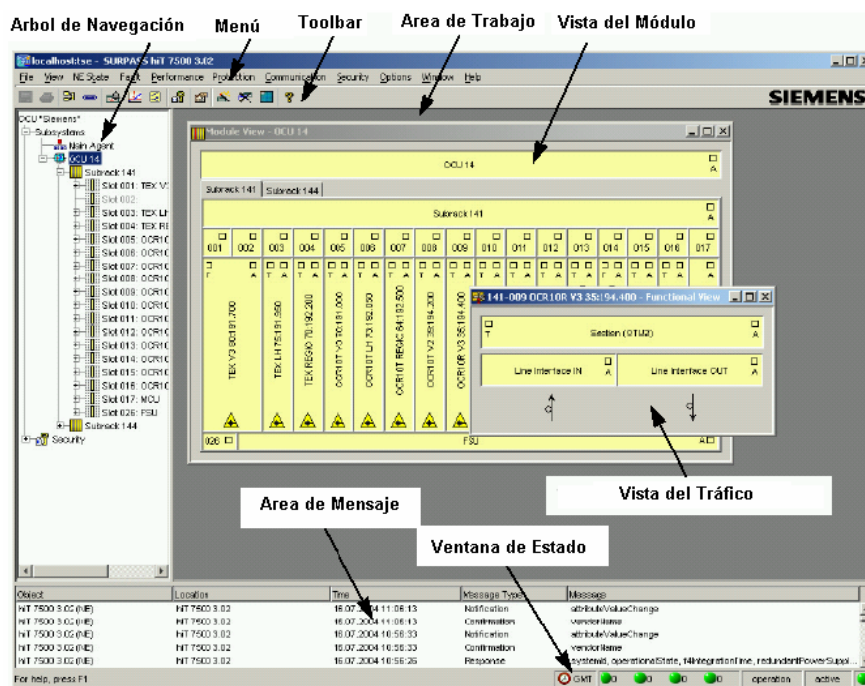


Figura. IV.4. Ventana Principal de TNMS



## CAPÍTULO V

### PRESUPUESTO REFERENCIAL

Una vez que se han estudiado las características técnicas de los equipos que se van a utilizar en la red DWDM propuesta para ser implementada en ANDINATEL S.A., se va a detallar un presupuesto referencial con el fin de dar una idea preliminar de lo que puede costar el proyecto en caso que se lo lleve a cabo. Este capítulo tiene la finalidad de brindar a las autoridades una visión de cuanto sería la inversión que se debería realizar, de acuerdo con las características de la red y de los equipos propuestos anteriormente, en caso de ser implementada la red DWDM.

El presupuesto que se planteará, va a estar de acuerdo con el equipo propuesto en el capítulo de características técnicas: el SURPASS hiT 7500 de propiedad de Siemens, ya que este equipo cumple con todas las características técnicas y de las distintas recomendaciones de la ITU-T, para satisfacer las necesidades que se propone en este documento que debe tener la red DWDM. Pero esto no quiere decir que otros equipos no cumplan con las características técnicas establecidas para la red DWDM que se pretende implementar, es tan solo una referencia tomada para que ANDINATEL S.A. lo considere como una opción viable para ejecutar el proyecto.

El SURPASS hiT 7500 OTT, es el equipo que se va a tomar como referencia para realizar el manejo del sistema DWDM de la red, ya que este equipo maneja todo lo referente a WDM, se debe aclarar que OTT es un módulo dentro del equipo, de tal manera que estos módulos deberían ser implementados en los dos extremos de la red DWDM entre Quito y Guayaquil, en el caso de que sean escogidos como opción válida.

Para la parte de los amplificadores ópticos que deben ir en ciudades intermedias, se propone el uso del SURPASS hiT 7500 OLR, igualmente como los equipos del manejo

DWDM, este es un módulo que se implementa en el equipo hiT y realiza la amplificación de la señal de tal manera que cubren las distancias que existen entre las ciudades donde deberán estar los amplificadores ópticos dentro de la red DWDM.

En lo que se refiere a los equipos terminales propuestos para que realicen el manejo de la parte SDH, se escogió al SURPASS hiT 7070 como referencia para ser presupuestado, este es un equipo de última generación, diseñado por la Siemens específicamente para el uso de tecnología SDH.

De manera preventiva dentro del presupuesto de la red WDM, se van a tomar en cuenta valores extras en cada parte de la red en caso de que ocurran imprevistos, tanto en la implementación como factores externos que impidan el normal desempeño de la red. Esto con el fin de tener un valor casi real de lo que llegaría a costar un proyecto de esta naturaleza.

El presupuesto referencial va a ser dividido en las siguientes partes:

- 1) Presupuesto equipos manejo DWDM y sistema de Gestión
- 2) Presupuesto equipos manejo SDH
- 3) Presupuesto de infraestructura, sistemas de energía y climatización

**5.1. EQUIPOS MANEJO DWDM Y SISTEMA DE GESTION**

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO(\$)	CANTIDAD TOTAL	PRECIO TOTAL(\$)
<b>SISTEMA DWDM</b>				
1	Rack con accesorios	890,00	7	6.230,00
2	Unidad de Control	2.856,00	7	19.992,00
3	Unidad de Potencia	2.227,00	7	15.589,00
4	Transponder 2.5 Gbps	22.530,00	4	90.120,00
5	Transponder 10 Gbps	25.680,00	4	102.720,00
6	Transponder 40 Gbps	30.000,00	4	120.000,00
7	Transponder de Múltiple Trama	35.800,00	4	143.200,00
8	Interfaces Auxiliares	2.227,00	8	17.816,00
9	Conectores	4,00	20	80,00
10	Patch cords LC o SC/PC a FC-PC (20 metros)	46,00	15	690,00
11	Licencias equipos	10.400,00	6	62.400,00
12	Materiales de Instalación	1.000,00	1	1.000,00
13	Documentación	5.800,00	1	5.800,00
14	Extras	5.000,00	1	5.000,00
<b>SISTEMA DE MANEJO DE LA RED</b>				
1	Hardware para NMS	50.060,00	1	50.060,00
2	Sistema Software	15.800,00	1	15.800,00
3	Licencias	5.600,00	1	5.600,00
4	Extras	5.000,00	1	5.000,00
<b>SERVICIOS Y ENTRENAMIENTO</b>				
1	Instalación y comicionamiento del sistema DWDM	35.850,00	1	35.850,00
2	Otros Servicios	3.200,00	1	3.200,00
3	Entrenamiento local	2.500,00	1	2.500,00
4	Extras	5.000,00	1	5.000,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>713.647,00</b>
<b>IVA %</b>				<b>85.637,64</b>
<b>TOTAL</b>				<b>799.284,64</b>

(\*) El precio de algunos equipos va a variar de acuerdo al tiempo de oferta.

**5.2. INFRAESTRUCTURA, SISTEMA DE ENERÍA Y CLIMATIZACIÓN**

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO(\$)	CANTIDAD TOTAL	PRECIO TOTAL(\$)
<b>INFRAESTRUCTURA</b>				
1	Obreros	0,00	0	0,00
2	Materiales	0,00	0	0,00
3	Servicios Básicos	0,00	0	0,00
4	Extras	200,00	1	200,00
<b>SISTEMA CLIMATIZACION</b>				
1	Equipo ventilación	0,00	0	0,00
2	Materiales	0,00	0	0,00
3	Costos de Instalación	0,00	0	0,00
4	Ductos de Ventilación	0,00	0	0,00
5	Extras	200,00	1	200,00
<b>SISTEMA ENERGIA</b>				
1	Cableado	0,00	0	0,00
2	Canaletas	0,00	0	0,00
3	Cajetines	0,00	0	0,00
4	Costos de Instalación	0,00	0	0,00
5	Extras	200,00	1	200,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>600,00</b>
<b>IVA %</b>				<b>72,00</b>
<b>TOTAL</b>				<b>672,00</b>

(\*) No existen gastos debido a que ya existe infraestructura, sistema de energía y climatización en todas las instalaciones de ANDINATEL S.A.

**5.3. EQUIPOS MANEJO SDH**

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO(\$)	CANTIDAD TOTAL	PRECIO TOTAL(\$)
------	-------------	---------------------	----------------	------------------

**SISTEMA SDH**

	Rack con accesorios	714,00	3	2.142,00
	Unidad de Control	2.556,00	2	5.112,00
	Unidad de Potencia	2.227,00	2	4.454,00
	Tarjeta MUX/DEMUX 4x10 Gbps	30.250,00	2	60.500,00
	Tarjeta óptica WDM LH 1x10 Gbps (STM-64)	28.900,00	4	115.600,00
	Tarjeta óptica SDH 4x2.5 Gbps (STM-16)	25.300,00	2	50.600,00
	Tarjeta SDH 8x155 Mbps (STM-1 eléctrica)	5.423,00	6	32.538,00
	Tarjeta eléctrica PDH 63x2 Mbps	2.693,00	8	21.544,00
	Tarjeta eléctrica 34/45 Mbps	3.246,00	6	19.476,00
	Conectores	4,00	8	32,00
	Licencias	6.300,00	2	12.600,00
	Material de Instalación	1.000,00	1	1.000,00
	Documentación	24.356,00	1	24.356,00
	Extras	5.000,00	1	5.000,00
<b>SUBTOTAL</b>				<b>354.954,00</b>
<b>IVA %</b>				<b>42.594,48</b>
<b>TOTAL</b>				<b>397.548,48</b>

El presupuesto referencial para la red DWDM de ANDINATEL S.A., es de aproximadamente 1'200.000 dólares, pero cabe recalcar que los precios pueden variar de acuerdo al equipamiento con el que se le ponga a cada equipo en la red, según las necesidades que tengan los clientes.

<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL TOTAL (\$)=</b>	<b>1.197.505,12</b>
--	---------------------

## **5.4. BASES TÉCNICAS**

El siguiente documento tiene el propósito de explicar las especificaciones técnicas del equipo que realice el manejo del sistema DWDM, de los amplificadores en los puntos intermedios y del sistema de gestión, igualmente define los requisitos específicos en términos de configuración y necesidades para los sistemas principales y secundarios.

### **1. OBJETIVO**

Diseñar un sistema de transmisión DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexation) entre Quito y Guayaquil a través del cable de fibra óptica G.652 ya existente, para ampliar la capacidad de comunicación entre la ciudad de Quito y Guayaquil, permitiendo el mejoramiento en la calidad de los servicios prestados actualmente e incrementando nuevas aplicaciones de servicios de voz, datos y video.

### **2. REQUERIMIENTOS**

En el presente proyecto, el contratista se comprometerá a realizar la ejecución de las siguientes actividades, para la ejecución del sistema DWDM propuesto en el Capítulo III:

- Servicios de instalación de todos los equipos y materiales.
- Transporte del suministro hasta los sitios de instalación.
- Pruebas de todo el sistema de transmisión.
- Puesta en servicio del sistema total.
- Mantenimiento de la red.
- Soporte técnico.
- Provisión de repuestos.
- Garantías.
- Entrenamiento del personal.
- Documentación de todos los equipos de la red.

La ingeniería y el diseño de la red DWDM de transmisión serán desarrollados y estarán bajo la responsabilidad total del oferente.

### **3. SISTEMA DWDM**

#### **3.1. Generalidades**

- 3.1.1 El sistema DWDM a implementar entre Quito y Guayaquil, será de última tecnología, de tal manera que se disponga de un sistema moderno, robusto, confiable, flexible y duradero.
- 3.1.2 Los equipos de transmisión que el oferente pretenderá suministrar a ANDINATEL S.A., deberán incluir un certificado que corresponde a sistemas de transmisiones tipo CARRIER CLASS.
- 3.1.3 El Diseño técnico del proyecto debe elaborarlo el oferente de acuerdo al requerimiento técnico visto en el Capítulo III y a los objetivos del documento; cumpliendo con las especificaciones técnicas según las Recomendaciones de la UIT.

#### **3.2. Características del Sistema DWDM**

- 3.2.1 El equipo ofrecido será de tecnología (WDM) Multiplexación por División de Longitud de Onda para redes de transporte para aplicaciones regionales y de largo alcance (long haul).
- 3.2.2 El sistema DWDM, permitirá incrementar o modificar redundancias, aumentar el número de interfaces de entrada / salida, sustituir elementos y unidades dañadas por unidades de mejores prestaciones.

- 3.2.3 El equipo deberá ser totalmente modular, de fácil implementación y mantenimiento, de modo que se hace posible modificar la composición del mismo de forma fácil, y sobre todo sin interrumpir el tráfico de información.
- 3.2.4 El equipamiento ofertado debe trabajar normalmente bajo las siguientes condiciones:
- Humedad Relativa: 5 a 90 %.
  - Temperatura de operación garantizada: 0°C a +55 °C .
- 3.2.5 La distancia máxima a ser cubierta en una aplicación long haul será de 700 Km sin necesidad de ningún tipo de regeneradores óptico-eléctrico-óptico.
- 3.2.6 El oferente especificará la distancia máxima de transmisión a ser cubierta entre un Terminal WDM y un amplificador de fibra dopado de erbio (EDFA) o entre dos EDFAs, considerando las pérdidas por empalmes, atenuación en la fibra, etc.
- 3.2.7 Los transponders WDM deberán ser equipados con láser sintonizables para cubrir toda la banda C de transmisión, de esta manera se obtendrá un rápido aprovisionamiento de servicios y reducción de unidades de repuesto.
- 3.2.8 El sistema deberá estar provisto de la función ALS (automatic laser shut down) en caso de corte de la fibra o pérdida de señal.
- 3.2.9 Será posible apagar los láseres en forma local o remota.
- 3.2.10 Las interfaces del sistema WDM estarán en capacidad de interconectarse y operar con equipos de otros suministradores que utilicen los estándares de la UIT-T.
- 3.2.11 El sistema WDM deberá operar bajo las Recomendaciones UIT-T G.652 para la transmisión a través de la fibra óptica monomodo en 1550 nm.



3.2.12 Los procedimientos y requisitos de seguridad óptica deberán estar de acuerdo a la Recomendación UIT-T G.664.

3.2.13 La fluctuación de fase y la fluctuación lenta de fase en la red de transporte óptico deberán estar bajo la Recomendación UIT-T 8251.

3.2.14 Los sistemas deberán incluir rack ETSI o 19" para montaje interno, accesorios para montaje e instalación.

3.2.15 El equipos DWDM deberá soportar el transporte de los siguientes servicios:

- Gigabit Ethernet en los modos SX o LX.
- Protocolos para almacenamiento tales como FC, Escon y Ficon.
- SDH para los modos de transporte STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64.
- OTU-1 y OTU-2

3.2.16 El oferente deberá entregar una tabla de distribución de la longitud de onda de los canales que opera el equipo según la Recomendación UIT-T G.694.1. El espaciamiento de los canales deberá ser 100 GHz.

3.2.17 Los equipos deberán disponer de alarmas visibles de fallas de señal y energía.

### **3.3. Topología del Sistema DWDM**

3.3.1 El sistema WDM deberá soportar los siguientes topologías de red:

- punto a punto
- punto a punto con OADM lineal.
- Anillo WDM con OADMs.

- 3.3.2 El sistema DWDM podrá ser de fácil ampliación y actualización del equipo. Deberá ser capaz de migrar desde una configuración punto a punto a una configuración protegida en anillo. Estos cambios no deberán causar ninguna interrupción en el tráfico de información.
- 3.3.3 El equipo DWDM podrá bajar toda la capacidad del equipo en cada interfaz utilizada.
- 3.3.4 Los equipos DWDM ofrecidos podrán ser configurados en modo OADM (Optical Add Drop Multiplexer) o Terminal sin modificaciones en el hardware del equipo y podrán ser configurados remota o localmente.
- 3.3.5 La arquitectura de la red de transporte óptico estará bajo las Recomendaciones UIT-T G.871 y UIT-T G.872.
- 3.3.6 Según el análisis de ingeniería, de ser necesario, el sistema deberá incluir módulos con compensación de dispersión (DCM), deberán ser alojados en el mismo rack del equipo WDM. Incluir el detalle del análisis.

### **3.4. Tipos de Protección**

- 3.4.1 El sistema DWDM deberá tener la posibilidad de proveer las siguientes protecciones:
- Protección de canales ópticos para asegurar alta confiabilidad requerida en el sistema de transmisión.
  - Protección óptica OSNCP para aplicaciones de transmisión lineal y anillo. Suministrando redundancia contra fallas, mejorando la disponibilidad de canales individuales ofrecidos a través de este mecanismo. El criterio de conmutación está basado en las condiciones de falla de señal o degradación de señal detectada en el nivel del transponder de la terminación del canal óptico. El

mecanismo de protección puede ser revertido o no revertido.

- La protección del sistema de transmisión DWDM podrá ser realizada y controlada a través de los equipos de transmisión SDH.

3.4.2 El sistema deberá tener la característica de detectar e iniciar la conmutación a la protección en caso de fallas del camino principal en un tiempo menor a 50 ms.

3.4.3 Deberá tener protección 1+1 para los transponders, la conmutación deberá ser inferior a 50 ms en caso de averías.

3.4.4 La protección lineal de la red de transporte óptico deberá estar de acuerdo con la Recomendación UIT-T G.873.1.

3.4.5 A futuro el sistema migrará de la arquitectura punto a punto a una arquitectura en anillo. El sistema deberá estar en capacidad de realizar esta migración sin la adquisición de unidades adicionales y podrá obtener una protección en anillo solamente realizando una configuración del sistema. El oferente deberá presentar en detalle como se desarrollaría esta característica.

### **3.5 Tipo de Alimentación**

3.5.1 Voltaje de Entrada: 48 VDC positivo conectado a tierra (auto detección), tolerancia  $\pm 20\%$ .

3.5.2 Protección de Fuente de alimentación 1+1 para todas las unidades o módulos del equipo.

#### **4. SISTEMA DE AMPLIFICADORES ÓPTICOS**

- 4.1. Los amplificadores deberán ser amplificadores de fibra dopados de erbio EDFA
- 4.2. Los amplificadores deberán ser capaces de proveer una amplificación óptica hasta la capacidad máxima de transmisión del sistema ofrecido sin necesidad de realizar cambios o reemplazo de hardware o inclusión de nuevas unidades.
- 4.3. El sistema WDM ofrecido deberá soportar amplificadores ópticos para poder extender los tramos de transmisión óptica entre los equipos terminales.
- 4.4. El sistema ofrecido deberá emplear tolerancia mejorada OSNR y PMD.
- 4.5. Cuando sea necesario incrementar o disminuir, el número canales, en el sistema de transmisión, los amplificadores no deberán causar cortes de tráfico de ningún tipo en la red.
- 4.6. Los amplificadores deberán soportar de manera total algún tipo de gestión, obtener mediciones del amplificador y posibilidad de realizar mantenimiento en forma local y remota.
- 4.7. Para seguridad, el amplificador deberá soportar láser tipo shut down (ALS) para el caso de que la fibra se rompa de acuerdo a la Recomendación UIT-T G.664.
- 4.8. Los amplificadores deberán estar equipados con láser sintonizables para cubrir toda la banda C.
- 4.9. El sistema DWDM tendrá la capacidad de transmitir la información requerida solamente con el uso de amplificadores en los sitios intermedios del enlace sin necesidad de utilizar regeneradores óptico/eléctrico/óptico.

## 5. SISTEMA DE GESTION

El oferente deberá cotizar en su oferta, un sistema de gestión remoto y un centro de gestión, adecuado para la administración, configuración, operación y mantenimiento de todos los equipos de la red DWDM. Es importante y obligatorio que se oferte un único sistema de Gestión para todos los elementos de red.

### 5.1 Características del Sistema de Gestión

5.1.1 El sistema debe tener una interfaz gráfica amigable :

- Realizar la construcción de diagramas de red e importación de mapas de fondo en formatos estandarizados con el fin de dar una idea clara del diseño de la red.
- Podrá operar en diferentes ventanas simultáneamente para poder interactuar con diferentes funciones de sistema.
- Podrá visualizarse en un mapa de red todos los elementos y caminos del sistema de gestión, ejemplo:
  - Equipos WDM
  - Enlaces Ópticos
  - Amplificadores ópticos
  - ADMs
  - Puertos de toda la red
  - Protecciones de red

5.1.2 Gestión de elementos

- El gestor de elementos debe ser capaz de gestionar todos los elementos de red, es decir, control absoluto de la red.
- El NMS y el LCT podrán gestionar los amplificadores ópticos (EDFAs) utilizados en sitios intermedios de la red DWDM, la gestión de estos deberá ser como si se tratara de algún equipo DWDM.

### 5.1.3 Gestión de configuración

- Se podrán modificar desde la gestión, los parámetros configurables de todos los elementos de red gestionados.
- No se requerirá personal en sitio para cambiar la configuración de un elemento de red. Con excepción de las direcciones identificativas del propio elemento de red.
- Control de láser automático, deberá incluir habilitación o inhibición, forzado on, forzado off, etc.
- Tendrá la posibilidad de gestionar todos los puertos del sistema de transmisión implementado, se podrá realizar: lazos en los puertos eléctricos y ópticos.
- El sistema de gestión local y remoto podrán obtener lecturas estadísticas sobre la potencia de transmisión y recepción de todos los puertos ópticos de todos los equipos del entero sistema de transmisión.
- El sistema permitirá al operador crear o eliminar protección de conexiones ópticas en modo manual, forzado, bloqueo o desbloqueo.
- Se podrá realizar la creación de múltiplex conexiones simultáneamente.
- Se podrá visualizar la lista entera de conexiones cruzadas del entero sistema de transmisión.

### 5.1.4 Gestión de eventos

- El evento alarma será audible y tendrá como consecuencia un cambio de color en los iconos en el centro de gestión.
- La identificación de la falla se la realizará a nivel de elemento de red y también de toda la red.
- El sistema deberá realizar log históricos de alarmas de cada uno de los elementos de red y de toda la red en general.
- Las alarmas podrán ser identificadas y mostradas cuando ocurran los eventos siguientes:

- Malfuncionamiento de los equipos, módulos o unidades
  - Degradación de señales
  - Desajustes o daños en las conexiones eléctricas u ópticas
  - Falta de energía.
- 
- Los tipos de alarmas podrán tener niveles diferentes de severidad: urgente, no urgente y mantenimiento.
  - El sistema deberá ser capaz de identificar alarmas externas.

#### 5.1.5 Gestión de Seguridad

- Deberá disponer de la seguridad estándar proporcionada por los sistemas operativos: Windows 2000, Windows 2003 o UNIX o alguna familia de Windows de última generación.
- Identificación de usuario y palabra clave encriptada o con códigos.
- Niveles de operación del sistema: administrador, configuración, operación y supervisión.
- Se podrá asignar usuarios a dominios particulares, para que el acceso sea específicamente a ese dominio. Los usuarios o grupo de usuarios asignados a un dominio específico deberán tener un nivel diferente de autorización.
- El NMS podrá detectar la conexión del LCT en cualquier elemento de la red y dar permisos para la administración de la red.

## 6. DOCUMENTACION

El oferente deberá presentar los siguientes tipos de documentación:

- b) Documentación de descripción de los sistemas.
- c) Documentación sobre la instalación.
- d) Documentación para pruebas de aceptación.
- e) Documentación sobre el funcionamiento y operación de los equipos.
- f) Documentos sobre mantenimiento.

## **7. ENTRENAMIENTO**

7.1. Además de la transferencia de información en el sitio durante la instalación y puesta en funcionamiento (training on the job), se debe ofertar la capacitación en los aspectos técnicos y de operación del Sistema ofertado al personal que ANDINATEL S.A. designe. La capacitación sobre el sistema ofertado debe cubrir aspectos de instalación, operación y mantenimiento del equipo, el contenido será teórico y práctico.

7.2. El entrenamiento se lo dará en Quito, para Todos los ingenieros y técnicos de la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A., con una duración mínima de dos semanas. Si el Oferente considera que se requiere de mayor tiempo sugerirlo en la oferta.

7.3. También deberá existir un entrenamiento en la fábrica para 5 ingenieros y técnicos, en donde incluya la parte teórico y práctica de cada equipo, el costo total del personal para el traslado, estadía y material didáctico deberá incluirse en la oferta.

## **8. LICENCIAS**

La oferta debe incluir las licencias respectivas por cada uno de los equipos suministrados y aquellas correspondientes al sistema de gestión que pasarán a ser de propiedad de ANDINATEL S.A. para su uso, de manera ilimitada.

## **9. GARANTIA**

El contratista, para asegurar la calidad de los equipos y materiales que suministra (independientemente de su origen), y principalmente del servicio que se presta a través de ellos, deberá al momento de la suscripción del contrato y como parte integrante del mismo, presentar una garantía del fabricante, la que se mantendrá vigente hasta 1 año después de la Entrega Recepción Definitiva.



En la garantía técnica se establecerá que el contratista reemplazará a su costo todos aquellos equipos y materiales que se determinen con defectos de fabricación o no cumplan con las características técnicas contratadas y asistirá en la solución de los problemas que se presenten como consecuencia de esta implementación.

De no presentarse esta garantía, ésta tendrá que suplirse con una garantía en la forma prevista en el Reglamento de Contratación de ANDINATEL S.A., por igual valor al bien suministrado. Esta garantía entrará en vigencia a partir de la Entrega Recepción Definitiva del contrato.

## **10. EQUIPOS**

### **10.1. Equipo DWDM**

Los equipos de manejo del sistema DWDM deben cumplir las siguientes características para poder cumplir con los requisitos que va a tener la red de ANDINATEL S.A.:

- 10.1.1 Utilización Máxima de la Fibra: la capacidad de los transponders deberá ser mayor a 3.2 Tbps por cada par de fibras, o sea el equipo debe soportar gran capacidad de información.
- 10.1.2 Alcance Extendido: Amplificadores ópticos de alto desempeño con refuerzo de EFEC para grandes distancias. Para aplicaciones ópticas el sistema debe soportar dimensionamiento ULH de miles de kilómetros de transmisión solo óptica.
- 10.1.3 Modularidad: capaz se aumentar su capacidad en forma modular, minimizando los costos de inversión inicial, sin necesidad de adicionar ningún otro equipo.

- 10.1.4 Costo Bajo de la Red: Dado que debe ser un sistema de última generación, los costos en cuanto a regeneradores eléctricos y amplificadores ópticos van a ser reducidos comparados con sistemas actuales de menor capacidad.
- 10.1.5 Escalabilidad: Deberá cumplir con el concepto de escalabilidad en cada multiplexor/demultiplexor, requerido para la adición/extracción.
- 10.1.6 Compacto: El sistema debe brindar una solución DWDM lo más compacta posible tanto en la parte física como en las interfaces.
- 10.1.7 Diseño de Red Simplificado: con esto se puede se reduciría en forma significativa el costo de mantenimiento del sistema, y se optimizaría su uso.
- 10.1.8 Control Óptico: Se refiere a utilizar técnicas para asegurar la calidad de la señal que llega desde el transmisor hasta el receptor.
- 10.1.9 Flexibilidad del Tipo de Fibra: El equipo deberá ser compatible con el mayor tipo de fibras tales como SSMF, NZDF y DSF.
- 10.1.10 Flexibilidad OADM: Con capacidad de adición/extracción del 100 % en todos los puntos intermedios de la red si esta lo tuviera, caso contrario en los puntos terminales.
- 10.1.11 Flexibilidad de Servicio: Con esta característica el equipo deberá soportar servicios basados en SDH, IP o ATM. Con el fin de satisfacer al cliente.
- 10.1.12 Soluciones Integradas: El equipo será capaz de interconectarse con otros equipos de manejo SDH para poder tener un completo sistema DWDM que satisfaga todas las necesidades y proporcione alta capacidad en la red.

10.1.13 Soluciones Múltiples: Esta característica se refiere a que el equipo de manejo DWDM se puede equipar de acuerdo con la característica de la red que se vaya a implementar.

10.1.14 Análisis de Desempeño Óptico: El equipo deberá constar con todas las opciones para poder ser monitoreado tanto de forma manual o remota para obtener un alto grado de control de toda la red.

## **10.2. Interfaces y Transponders**

10.2.1. Los transponder deberán cumplir con la Recomendación UIT-T G.709, compatibles con aplicaciones UNI (interfaces usuario-red) y NNI (interfaces de nodo de red) y tener autoconfiguración para la regeneración de señal 3R (reamplificación, reconformación y retemporización).

10.2.2. El oferente deberá confirmar la interoperatividad y la compatibilidad total en el lado cliente con los transponders de los equipos ofrecidos, para asegurar el paso transparente del todo el tráfico necesario.

10.2.3. El equipo deberá soportar los siguientes transponders, estos pueden ser adquiridos y habilitados en el momento que se requieran:

- 100 Mb/s para transponder multi-rate de 2.5 Gb/s para FE (agregador universal), fiber channel, ESCON, FICON, Video Digital, STM-1, STM-4 y STM-16.
- Multiplexing Transponder de 2.5 a 10 Gb/s para STM-16 y OTU1 IrDI de acuerdo a las Recomendaciones UIT-T G.709.

10.2.4. Con el equipo se ofrecerá transponders bidireccionales siguientes:

- Transponder de 10 Gb/s de acuerdo a la Recomendación UIT-T G.709 para aplicaciones UNI y NNI. Deberá soportar STM-64, 10 GBE WAN Phy, 10 GBE LAN Phy, OTU2 IrDI de acuerdo a la Recomendación G.709.

10.2.5. Los transponders deberán poder realizar un control y ajuste de la potencia óptica de los canales de transmisión a través de un atenuador óptico variable (VOA). Se podrá realizar el ajuste en forma local y remota.

10.2.6. Los transponders podrán ser configurados de manera local y remota. Podrá ser utilizado para las aplicaciones add/drop y loop back local o remoto para realizar pruebas e identificación de fallas.

10.2.7. Los equipos WDM ofrecerán las siguientes interfaces GBE y 10 GBE en la capacidad indicada, que permitirán la interconexión directa con equipos de sistemas de otros proveedores. La ampliación del número de interfaces será de al menos 3 veces la capacidad inicial.

10.2.8. Los transponders deberán poder realizar un control y ajuste de la potencia óptica de los canales de transmisión a través de un atenuador óptico variable (VOA). Se podrá realizar el ajuste en forma local y remota.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

- La implementación de una red de transporte basada en la tecnología de alta velocidad WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda) entre las ciudades de Quito-Guayaquil, permite a ANDINATEL S.A. tener una red sin competencia a nivel nacional y consolidarse como una empresa pionera en proyectos de última tecnología.
- La red DWDM propuesta en este documento cumple con las expectativas deseadas para ampliar la capacidad de transportar información entre Quito y Guayaquil de 2.5 Gbps (STM-16) a 40 Gbps, sobre la infraestructura que ya tiene implementada ANDINATEL S.A.
- Las especificaciones técnicas propuestas en las bases técnicas, van a garantizar que los equipos que se deba utilizar sean de última generación y garanticen total confiabilidad de toda la red, a la vez que permitan actualizaciones en caso de requerir ampliaciones en nuevos servicios.
- El diseño de la red está diseñada con un estudio completo de lo que se refiere a atenuaciones de la fibra en todo el trayecto de Quito y Guayaquil, verificando los valores de forma manual y a través de OTDRs.

- El diseño de la red y todos los equipos que deberían ser utilizados deben cumplir todas las recomendaciones de la ITU-T descritas en el capítulo de características técnicas de los equipos.
- Es importante saber interpretar las recomendaciones de la ITU-T para poder realizar un adecuado diseño de la red y saber optimizar los recursos que se tiene y añadir la menor cantidad posible de equipos en los diferentes nodos.
- En lo referente a costos, realizar un proyecto sobre una infraestructura ya implementada, es mucho más barato que comenzar desde cero una red por cuanto son los costos del tendido de 1 fibra en cada trayecto del enlace entre Quito y Guayaquil.
- La Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) es una técnica con la cual una red SDH puede migrar a la utilización de otra longitud de onda con la cual se este trabajando. Esta ventaja hace posible que la red actual SDH entre Quito-Guayaquil pueda fácilmente incorporarse en una red WDM sin problemas.
- La multiplexación por división de longitud de onda, WDM, es una tecnología de telecomunicación que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un Diodo Emisor de Luz, LED.
- Se pudo observar que la Topología propuesta para este proyecto es una topología punto a punto ya que así lo permite la infraestructura actual, pero esto no quiere decir que la red pueda funcionar en esta topología, sino que los equipos deberán ser capaces de soportar todo tipo de topologías vistas en la teoría de WDM.
- La implementación de un esquema de protección va a depender de la topología de red utilizada, en este caso como es una topología punto a punto se puede decir que una protección SDH es mucha más rápida que una protección WDM..

- El sistema de gestión propuesto es un sistema que debe gestionar toda red, independiente a los equipos que se utilice, y cada uno podrán ser gestionados de forma local como remota.
- Gracias a la infraestructura que tiene ANDINATEL S.A. en todas sus centrales, se puede observar que no es necesario realizar ningún tipo de gasto adicional en lo que se refiere a infraestructura, sistema de climatización y sistema de energía.
- Para el sistema DWDM el par de fibras a utilizarse va a ser la 14 y 15 del backbone del cable de fibra, independiente a la red SDH actual.
- El equipamiento de la red va a constar de 2 equipos Multiplexores DWDM, más 2 equipos SDH en los puntos terminales y 4 equipos amplificadores en los puntos intermedios.
- Se cumplió con todos los objetivos planteados para la realización de este proyecto, debido a las facilidades prestadas por ANDINATEL S.A.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Previo a Diseñar la red DWDM, se debe realizar sobre una infraestructura ya establecida, se deben estudiar las características técnicas y verificar la capacidad que soporta la fibra en la tecnología WDM para poder saber los alcances que se esperan obtener en el proyecto.
- Para determinar cuantos amplificadores se deben poner en puntos intermedios de la red para poder tener una buena señal durante todo el trayecto es de vital importancia realizar un estudio de atenuaciones en toda la red con datos exactos.
- Se recomienda estudiar adecuadamente las distintas protecciones que se tiene tanto en la parte WDM de la red y la parte de SDH para saber optimizar los equipos a utilizarse, ya que si se escogiera protección en la parte WDM, se debería usar el doble de equipos que los propuestos en este documento.
- Es importante tener el menor número de empalmes y conectores dentro de la red DWDM ya que esto va a reflejar como atenuaciones y podrían afectar en el tipo de amplificadores a ser implementados en la red.
- La tecnología utilizada en los amplificadores EDFAs, van a determinar cuanto es el alcance de la señal amplificada y así poder tener un diseño adecuado de la red.
- El sistema de gestión deberá ser un sistema de gestión remoto y centralizado, adecuado para la administración, configuración, operación y mantenimiento de todos los equipos contemplados en el presente proyecto.
- Es necesario realizar una inspección o revisión de todos los nodos de la red para tener una visión general de las salas de equipos de cada central. Con esto se sabrá si es necesario realizar algún otro tipo de infraestructura adicional.



- Se recomienda que los equipos a utilizarse tengan una alimentación de – 48 V para que a más de ser respaldados por UPSs, puedan ser respaldados por bancos de batería de servicio telefónico.
- Es necesario para la instalación y prueba de los multiplexores y amplificadores, tener equipos de prueba apropiados para que no exista ningún problema a futuro.
- El espacio en cada central donde van a ser instalados los diferentes equipos debe ser el adecuado para que no exista saturación de la sala, además debe existir un correcto sistema de climatización para mantener la sala de equipos a una temperatura adecuada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- STERN T, BALA K, *Multiwavelength optical networks*, Addison Wesley, 1999, pp. 130-190.
- TOMSU, SCHMUTZER, *Next generation optical networks*, Prentice Hall, New Jersey 2002, pp. 266-282.
- JUN, Zheng, *Optical WDM Networks: Concepts and Design Principles*, Tokyo 2003, pp. 10-105.
- DUTTA A.K., DUTTA N.K., FUJIWARA M., *WDM Technology*, primera edición, Academic Press, octubre 2004, pp. 53-170.
- SEXTON, Mike, REID, Andy, *Broadband Networking: ATM, SDH, and SONET*, Artech House Publishers, 1997, pp. 50-60.
- CATAÑÓN AVILA, Gerardo Antonio, *Preferred WDM packet switches router architecture and method for generating the same*, Estados Unidos de Norte America, octubre 2004, pp. 5-10.
- [www.itu.com](http://www.itu.com), ITU-T G.652 Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- [www.itu.com](http://www.itu.com), ITU-T G.692 Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.
- [www.itu.com](http://www.itu.com), ITU-T G94.1 Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación con división de longitud de onda densa.
- [www.siemens.com](http://www.siemens.com), Multiplexores Ópticos de última generación.
- [www.siemens.com](http://www.siemens.com), Equipos de manejo WDM.

- [www.siemens.com](http://www.siemens.com), Equipos de manejo SDH.
- [www.cisco.com](http://www.cisco.com), Introduction to DWDM Technology.
- [www.iec.org](http://www.iec.org), Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)
- [www.iec.org](http://www.iec.org), Applications for DWDM systems.
- [www.ieee.org](http://www.ieee.org), WDM Systems.
- [www.spie.org](http://www.spie.org), International Society for Optical Engineering Forum.
- [www.osa.org](http://www.osa.org), Optical Society of America.
- [www.eveliux.com](http://www.eveliux.com), Radiocomunicaciones y Fibra Óptica.
- [www.monografias.com](http://www.monografias.com), Redes ópticas de última generación.
- [www.promax.com](http://www.promax.com), Historia de la Fibra Óptica.
- [www.iec.org/tutorials/raman/](http://www.iec.org/tutorials/raman/), Raman Amplification Design in WDM Systems.
- [www.ll.mit.edu/aon/](http://www.ll.mit.edu/aon/), WDM Description on the All Optical Networking.
- [www.corningfiber.com/library](http://www.corningfiber.com/library), Librería de Fibra perteneciente a Corning.
- [www.acterna.com/technical\\_resources/notes](http://www.acterna.com/technical_resources/notes), Equipos en general.
- [www.anritsu.com](http://www.anritsu.com), Equipos de prueba.
- [www.agilent.com](http://www.agilent.com), Equipos de prueba.

## **ANEXOS**

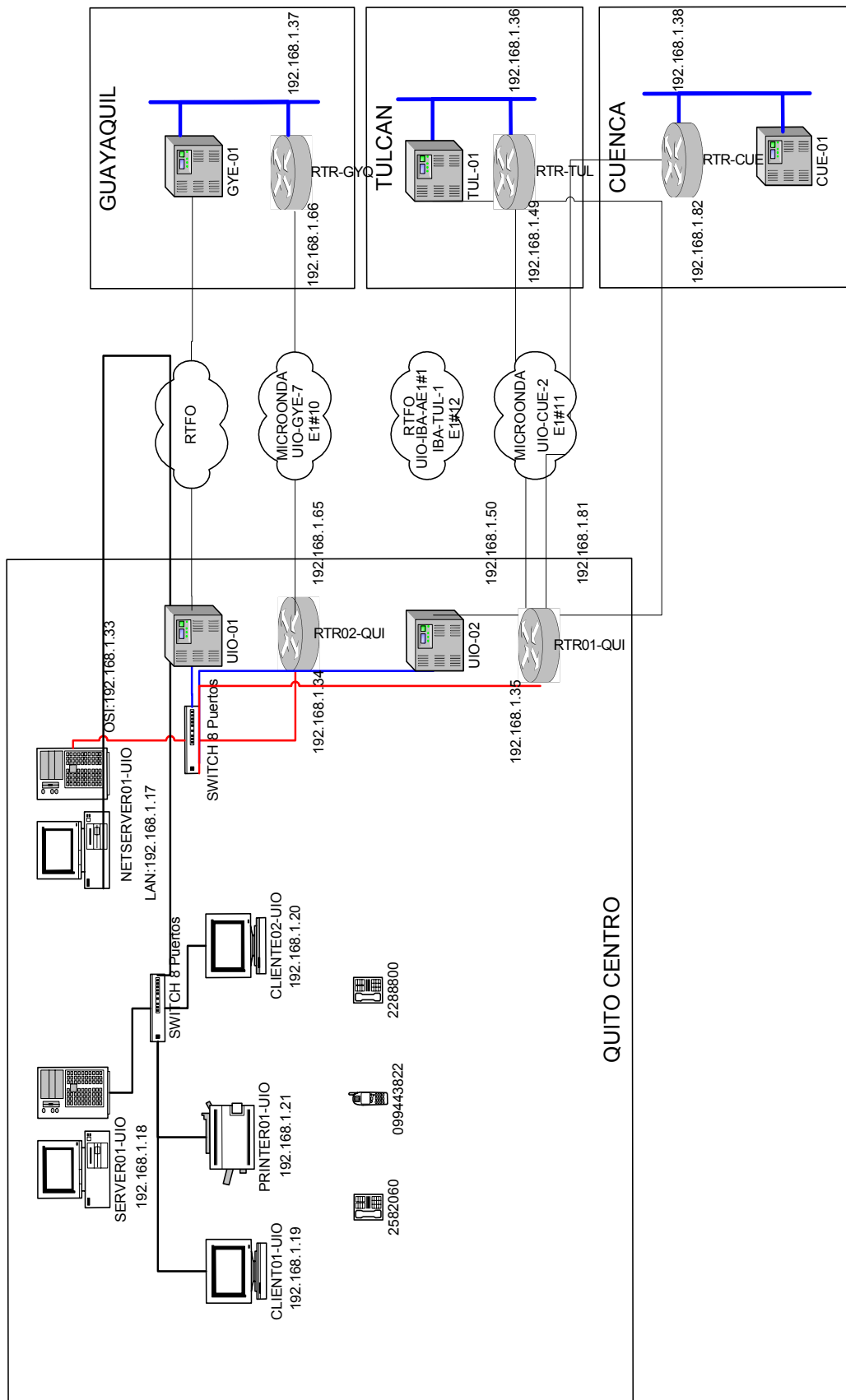
### **ANEXO 1**

#### **MULTIPLEXORES Y NÚMERO DEL CANAL DE SERVICIOS DE LA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA DE ANDINATEL S.A.**



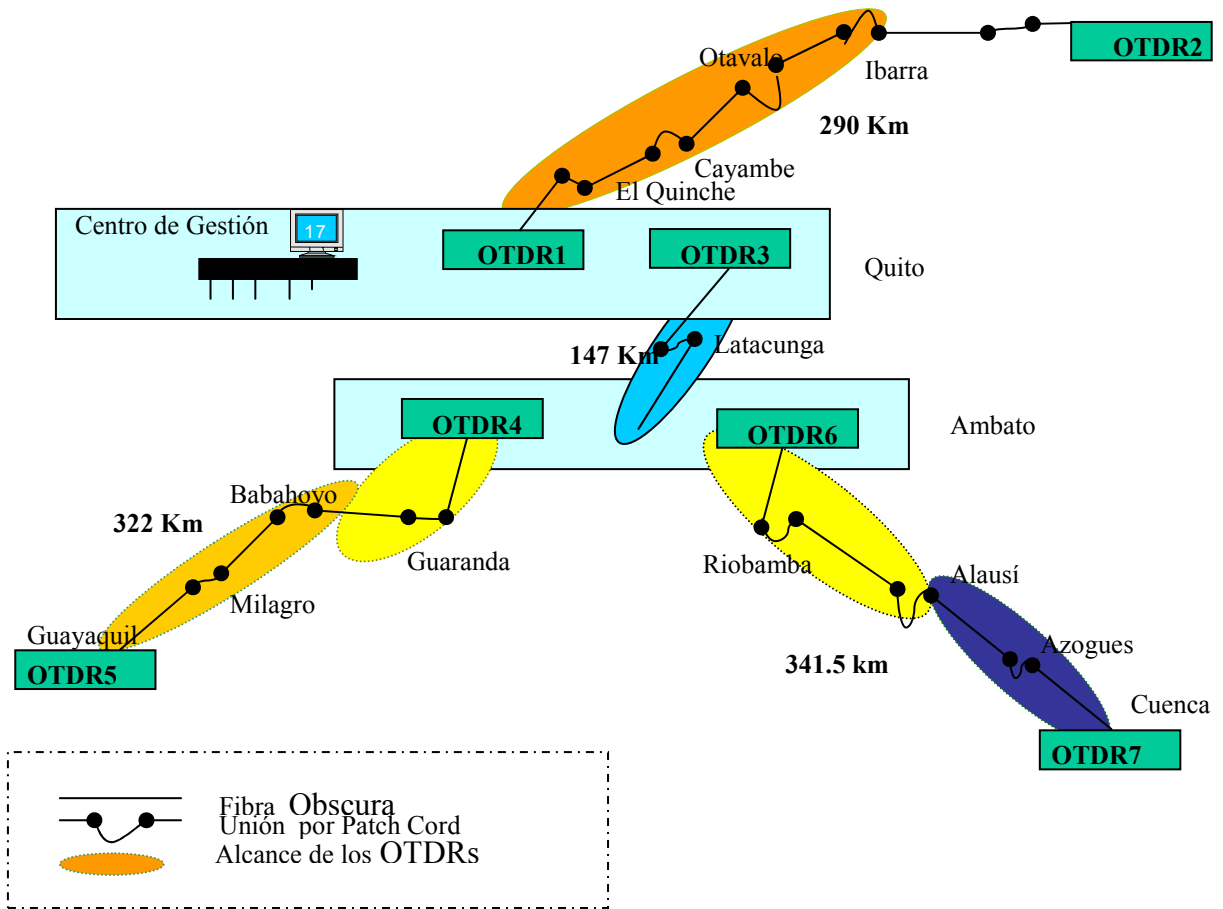
**ANEXO 2**  
**DIAGRAMA DE RED DEL SISTEMA DE GESTION DE FIBRA ÓPTICA**

DIAGRAMA DE RED DEL SISTEMA DE GESTION DE LA RTFO



**ANEXO 3**  
**DIAGRAMA GENERAL DE SISTEMA DE MONITOREO DE FIBRA (OF-NMS)**





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. I.1. Tendido General de la Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.....	4
Figura. I.2 Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.....	4
Figura. I.3. Trama STM-1. ....	6
Figura. I.4. a) Tarjeta ADM, b) ) Subrack ADM.....	8
Figura. I.5. ADM parte exterior e interior. ....	8
Figura. I.6. ADM's Quito-Guayaquil a) ADM GYE, b) ADM UIO.....	9
Figura. I.7. Esquema Centro de Gestión.....	11
Figura. I.8. Gestión de la Red Troncal de Fibra Óptica de ANDINATEL S.A.....	12
Figura. I.9. Potencias Utilizadas en cada ADM ANDINATEL S.A. ....	13
Figura. I.10. Indicadores mes Diciembre 2004 .....	17
Figura. I.11. Capacidad RTFO Diciembre 2004. ....	17
Figura. I.12. Indicadores mes Mayo 2005 .....	20
Figura. I.13. Capacidad RTFO Abril 2005 .....	20
Figura. I.14. Indicadores Julio 2005 .....	22
Figura. I.15. Capacidad RTFO Julio 2005.....	23
Figura. I.16. Sala Equipos Quito .....	24
Figura. I.17. Sala Ambato.....	25
Figura. I.18. Sala Guayaquil.....	26
Figura. I.19. Equipo de Aire Acondicionado .....	27
Figura. I.20. Sala de Rectificadores.....	28
Figura. I.21. Baterías .....	28
Figura. I.22. Acometida de los ADMs.....	29
Figura. II.1. Demanda de Ancho de banda y el cambio Capacidad de la Fibra vs. el tiempo .....	35
Figura. II.2. Red Óptica .....	36
Figura. II.3. Configuración Fibra Óptica.....	36
Figura. II.4. Regiones de las Longitudes de onda .....	38

Figura. II.5. Servicios de WDM .....	39
Figura. II.6. Sistema WDM .....	41
Figura. II.7. Modelo de transporte .....	41
Figura. II.8. Sistema DWDM .....	44
Figura. II.9. Rangos de espaciamento para DWDM y CWDM .....	45
Figura. II.10. Espectro de las Bandas C y L .....	47
Figura. II.11. Escala de longitud de onda para DWDM .....	48
Figura. II.12. Comparación entre DWDM y CWDM.....	50
Figura. II.13. Arquitectura punto a punto .....	52
Figura. II.14. Hub WDM y Arquitectura en anillo .....	53
Figura. II.15. Protección UPSR en un anillo DWDM .....	54
Figura. II.16. Arquitectura Combinada, punto a punto y en anillo .....	55
Figura. II.17. Multiplexación y Demultiplexación unidireccional .....	57
Figura. II.18. Multiplexación y Demultiplexación bidireccional .....	57
Figura. II.19. Demultiplexión por refracción de prisma.....	58
Figura. II.20. Difracción por bandeja de guía se onda .....	58
Figura. II.21. Bandeja de arreglo de guía de onda.....	59
Figura. II.22. Longitudes de onda para WDM .....	60
Figura. II.23. Relación señal a ruido óptico .....	62
Figura. II.24. Dopaje de Erbium para diseño de amplificador de fibra.....	64
Figura. II.25. Extracción/Adicción de longitudes de onda .....	66
Figura. II.26. Arquitectura del OADM basado en el multiplexado de uno tras otro.....	67
Figura. III.1. Ventana principal OFNMS .....	81
Figura. III.2. Gráfica atenuación Quito-Ambato .....	82
Figura. III.3. Gráfica atenuación Ambato-Guaranda.....	84
Figura. III.4. Gráfica atenuación Guayaquil-Babahoyo .....	85
Figura. III.5. Niveles de atenuación sistema Quito-Guayaquil .....	87
Figura. III.6. Detalle de fibras oscuras .....	88
Figura. III.7. Distancias entre nodos.....	89
Figura. III.8. Numero de longitudes de onda en la red DWDM.....	89
Figura. III.9. Red DWDM Quito-Guayaquil .....	101
Figura. IV.1. Tipos de configuraciones que tiene que soportar el equipo de manejo DWDM.....	104
Figura. IV.2. Diagrama Red DWDM utilizando SURPASS hiT 7500 .....	123

---

Figura. IV.3. Protección OCP.....	125
Figura. IV.4. Ventana Principal de TNMS.....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. I.1. Direcciones NSAP utilizadas por Siemens.....	10
Tabla. I.2. Estaciones de Trabajo .....	11
Tabla. I.3. Resumen consumo de Potencia.....	14
Tabla. I.4. Ocupación diciembre 2004 .....	16
Tabla. I.5. Ocupación Abril 2005 .....	19
Tabla. I.6. Ocupación Julio 2005.....	22
Tabla. I.7. Valores Típicos de cable de F.O. de hasta STM-16.....	30
Tabla. I.8. Valores Típicos de cable de F.O. de hasta STM-64.....	31
Tabla. I.9. Valores Típicos de cable de F.O. de hasta STM-64 en diferentes longitudes de onda. ....	32
Tabla. III.1. Resumen de características de la fibra G.652.....	76
Tabla. III.2. Códigos de aplicación para sistemas multicanales con amplificadores de línea .....	78
Tabla. III.3. Frecuencias centrales de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652.....	79
Tabla. III.4. Resumen atenuaciones Quito-Ambato .....	83
Tabla. III.5. Resumen atenuaciones Ambato-Guaranda.....	84
Tabla. III.6. Resumen atenuaciones Guayaquil-Babahoyo .....	86

## GLOSARIO

- 3R (reamplificación, reconformación y retemporización)
- $n_2/A_{\text{eff}}$ : Coeficiente no lineal
- Gpa: Gigapascal
- $A_{\text{eef}}$ : Área efectiva
- ADN Add Drop No-actualizable
- ADM Multiplexor de inserción/extracción
- ALS Apagado Automático del Láser
- ANSI Instituto Nacional Americano de Estandarización
- APCD Detección Automático de la Port Conexión
- APSD Apagado Automático
- ASE Emisión Espontánea Amplificada
- ASON Conmutación Automática de Red Óptica
- ATM Modo de Transferencia Asíncrona
- AWG Arreglo de Bandeja de Guía de Onda
- BER Tasa de Error de Bit
- BLC Control Básico de Enlace
- BLSR Anillos Conmutados de Línea Bidireccionales
- BSHR Anillos de Regeneración Bidireccional
- BPSR Anillos Conmutados por Caminos Bidireccionales
- CAD2 Módulo de Canal de inserción/extracción de 2 Longitudes de Onda
- CAPEX Gasto de Capital
- CCU Unidad de Conexión de Canal
- CDM Multiplexación por División de Código
- CFL Lista de Características del Cliente
- CMIP Protocolo de Manejo de Información Común.
- CNE Elemento Compuesto de Red
- CWDM Multiplexación por División de Longitud de Onda Gruesa

- DCCOo Canal Óptico de Comunicación Digital (OTS DCC)
- DCCMo Canal Múltiple de Comunicación Digital (OMS DCC)
- DCF Fibra de Compensación Dispersa
- DCN Red de Comunicación de Datos
- DGE Ecuador de Ganancia Dinámica
- DGD: Retardo de grupo diferencial
- DSF Fibra de Cambio de Dispersión
- DSP Parte Específica del Dominio
- DTC Costo de Diseño
- DWDM Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa
- EDFA Amplificador de Fibra Dopado de Erblio
- EFEC Corrección de Error Directa Mejorada
- EOW Alambre de Orden Técnico
- ETSI Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones Europea
- EXC Cross Conexión Eléctrica
- EXC Errores de Bit Excesivos
- FBG Rejilla de Bragg de la Fibra
- FDM Multiplexación por División de Frecuencia
- FEPRM Memoria de Lectura Programable Fácilmente
- GUI Interfaz Gráfica del Usuario
- HLC Control de Enlace Final
- IDP Parte del Dominio Inicial
- IP Protocolo de Internet
- IaDI Interfaz de Intra Dominio
- IrDI Interfaz de Inter Dominio
- ITU-T Unión Internacional de Telecomunicaciones
- LAN Red de Área Local
- LCAS Esquema de Ajuste de Capacidad de Enlace
- LED Diodo Emisor de Luz
- LOS/LOF Pérdida de Señal / Pérdida de Trama
- LOL Pérdida de Luz
- MAN Red de Área Metropolitana

- MCF Función de manejo de Comunicación
- MD Diodos de Monitoreo
- MIB Módulo Base de manejo de Información
- MODIF Trama Distribuida de manejo Óptico
- MPLS Conmutación de Múltiple Protocolo
- MPU/MCU Módulo de procesamiento/Módulo de Control
- MSP Protección de la Sección Múltiplex
- MSPP Plataforma de provisionamiento de Multi-Servicio
- MTS Sistema de Transporte de Múltiple-Longitud de Onda
- MWB Bloqueo de Múltiple-Longitud de Onda
- NCT/LCT Terminal de Manejo de Red/ Terminal de Manejo
- NE Elemento de Red
- NMS Sistema de Manejo de Red
- NZDSF Fibra de Cambio de Dispersión No-Cero
- N-SAP Punto de Acceso de Servicio de Red
- OA Amplificador Óptico
- OADM Multiplexor Óptico de inserción/extracción
- OCA Amplificador de Canal Óptico
- OCAS Amplificador y Conmutador de Canal Óptico
- OCC Acoplador Óptico de 5 Puertos
- OCh Canal Óptico
- OCM Canal Óptico de Monitoreo
- OCP Módulo de Protección de Canal Óptico
- OCR10-R Repetidor de Canal Óptico de 10Gbit/s-Regenerador
- OCR10-T Repetidor de Canal Óptico de 10Gbit/s -Transponder
- OCS Conmutador de Canal Óptico
- OCU Unidad de Canal Óptico
- OD20 Demultiplexor Óptico de 20 canales
- OER Regenerador Eléctrico Óptico
- OFNMS Sistema de Manejo de Redes de Fibra Óptica
- OLC Control de Enlace Óptico
- OLIF Filtro de Interfaz Óptico Lineal



- OLR Repetidor Óptico de Línea
- OM20 Multiplexor Óptico de 20 canales
- OMD Módulo Óptico de Inserción/extracción
- ONNI Interfaces de Nodos de Redes Ópticas
- OOB-FEC Corrección de Error Directa Fuera de Banda
- OPA Analizador de Desempeño Óptico
- OPEX Gasto Operacional
- OSA Analizador de Espectros Óptico
- OSI Sistema de Interconexión Abierta
- OSC Canal de Supervisión Óptico
- OSN Nodo de Servicio Óptico
- OSNR Relación Señal a Ruido Óptico
- OSPF Primera Trayectoria Libre
- OTN Red de Transporte Óptico
- OTS Sección de Transporte Óptico
- OTT Terminal de Transporte Óptico
- OXC Cross conexión Óptica
- PDL Pérdida Independiente de Polarización
- PLF Falla de Baja Potencia
- PMDC Compensación de Modo de Dispersión Polarizada
- PQMC Módulo de Ecuación de Potencia en la Banda C
- PXC Cross Conexión Fotónica
- RDI Indicación de Daño Remoto
- ROADM OADM Reconfigurable
- RPUMP Bomba de Raman
- RTFO Red Troncal de Fibra Óptica
- RWA Asignación y Ruteo de Longitud de Onda
- SAB Subrack de Tablero de Direcciones
- SD Señal Degradada
- SDH Jerarquía Digital Síncrona
- SEMF Función de manejo de Equipos Síncronos
- SFP Interfaces Ópticas

- SMA Multiplexor de inserción/extracción Síncrono
- SMU Unidad de manejo Subrack
- SNCP Protección de Conexión de Subred
- SONET Red Óptica Síncrona
- SPI Interfaz Periférico Síncrono
- SRS Dispersión Estimulante de Ramman
- STM Módulo de Transporte Síncrono
- SXA Cross-Conector Síncrono SDH Siemens – VC-12
- SXD Cross-Conector Síncrono SDH Siemens – VC-4
- TBD: Por determinar
- TDM Multiplexación por División de Tiempo
- TEX Multiplexor de 10 gigabit
- TIF Interfaz Telemétrica
- TNMS Sistema de Manejo de Redes de Telecomunicaciones
- UDCM Módulo de Compensación de Dispersión Unidireccional
- UHC Capacidad Ultra Grande
- ULH Ultra Largo Alcance
- UPSR Anillos Conmutados por Caminos Unidireccionales
- VC-4 Contenedor Virtual-4 (140 Mbit/s)
- VC-12 Contenedor Virtual -12 (2 Mbit/s)
- VCDB Base Configurable Variablemente
- VOA Atenuador Óptico Variable
- WB Bloqueo de Longitud de Onda
- WBC Bloqueo de Longitud de Onda en Banda C
- WDM Multiplexación por División de Longitud de Onda
- WL Sistema de Múltiple-Longitud de Onda Terrestre Siemens
- WLS Sistema de Múltiple-Longitud de Onda Submarino Siemens
- WSS Conmutación Selectiva de Longitud de Onda
- WWDM Multiplexación por División de Longitud de Onda de par en par
- XPM Modulación de Fase Cruzada

## **ACTA DE ENTREGA**

El proyecto fue entregado a la Facultad de Ingeniería Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a \_\_\_\_\_

---

Tcn. Ing. Xavier Martínez  
DECANO DE LA FACULTAD

---

Sr. Dr. Jorge Carvajal  
SECRETARIO ACADÉMICO

AUTOR:

---

Sr. Byron Homero Ramos Ulloa