

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**PROPUESTA DE MIGRACIÓN HACIA LA TECNOLOGÍA
CWDM DE UN ANILLO URBANO DE TRANSMISIÓN DE LA
CORPORACIÓN CANTV**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Rodríguez C., José L.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROPUESTA DE MIGRACIÓN HACIA LA TECNOLOGÍA CWDM DE UN ANILLO URBANO DE TRANSMISIÓN DE LA CORPORACIÓN CANTV

Prof. Guía: Ing. Rafael Arruebarrena

Tutor Industrial: Lic. Pedro Rojas

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Rodríguez C., José L.
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2006



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 27 de junio de 2006

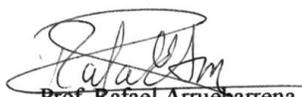
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Rodríguez C. José L., titulado:

**“PROPUESTA DE MIGRACIÓN HACIA LA TECNOLOGÍA CWDM DE
UN ANILLO URBANO DE TRANSMISIÓN DE LA CORPORACIÓN
CANTV”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. Carlos Fuenmayor
Jurado


Prof. Rafael Rodríguez
Jurado


Prof. Rafael Arruébarrena
Prof. Guía

Edificio Escuela de Ingeniería Eléctrica, piso 1, oficina 201, Ciudad Universitaria, Los
Chaguaramos, Caracas 1051, D.F.
TELÉFONOS. (VOZ) +58 212 6053300 (FAX) +58 212 6053105
Mail: eie-com@elecriste.ing.ucv.ve

DEDICATORIA

A mis padres Josefa y Luciano...

A mi hermano Fernando...

A Joanna...

A todas las personas que han creído en mí...

A Selecom, uno de mis sueños...

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios...

A mis padres, Josefa y Luciano, quienes me han apoyado
y amado incondicionalmente durante toda la vida...

A mi hermano, Fernando, quien es mi norte y además
fue alimento de mi constancia en el proyecto...

A Joanna, con quien aprendí a soñar y sentir un poco más la vida,
además me enseñó a nadar contra la corriente...

A Orlando y Rossi, por poder contar con ellos...

A Tulio Sánchez...

A todos los que trabajan en CANTV y me brindaron su amistad
y apoyo durante el desarrollo del proyecto...

Al Prof. Rafael Arruebarrena, mi profesor guía,
por la atención prestada durante el proyecto...

A todos los que trabajan en el DIOC...

A la UCV...

...y todos aquellos que hicieron posible la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

Rodríguez C., José L.

PROPUESTA DE MIGRACIÓN HACIA LA TECNOLOGÍA CWDM DE UN ANILLO URBANO DE TRANSMISIÓN DE LA CORPORACIÓN CANTV

Prof. Guía: Rafael Arruebarrena. **Tutor Industrial:** Lic. Pedro Rojas. **Tesis.** Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. **Ingeniero Electricista. Opción:** Comunicaciones. **Institución:** CANTV. 2006. 94 h. + anexos.

Palabras Claves: CWDM, multiplexación por división de longitud de onda gruesa, fibra óptica, reflectometría, caracterización de fibra óptica.

Resumen. En el presente trabajo se estudia la factibilidad técnica de incorporar la tecnología CWDM a un anillo urbano de transmisión de CANTV, con la finalidad de incrementar su capacidad de transporte y a su vez liberar fibras ópticas para su posterior utilización en nuevas redes. Como primer paso, se verifica el estado de la red y su compatibilidad con la tecnología CWDM mediante las respectivas pruebas para éste tipo de cableado. Seguidamente se realiza un levantamiento sobre el tráfico cursante y el que se espera a mediano plazo para establecer de esta forma las necesidades de la red y determinar los parámetros con los cuales se realiza el diseño y la escogencia de los equipos a instalar. Estos equipos se seleccionan de entre los proveedores mediante una encuesta evaluada, matriz de cumplimiento. Con los parámetros de diseño y las especificaciones de los equipos, se diseña la red CWDM, describiendo como se realizarán las interconexiones entre los equipos. Por último se entregan algunas recomendaciones y conclusiones.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE GRAFICAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
I.1 Planteamiento del problema	2
I.2 Justificación de la investigación	2
I.3 Objetivos de la investigación.....	3
I.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPITULO II	4
II.1 Antecedentes de la investigación	4
II.2 Bases teóricas	4
II.3 WDM	4
II.4 CWDM.....	5
II.5 Historia del CWDM.....	5
II.6 Estándar ITU G.694.2.....	6
II.7 Funciones del sistema CWDM.....	7
II.8 Fibra óptica.....	8
II.8.1 Tipos de fibra óptica	8
II.8.2 Relación fibra óptica y cantidad de canales CWDM.....	12
II.9 Componentes.....	14
II.9.1 Láser.....	14
II.9.2 Amplificadores y regeneradores.....	15
II.9.3 Amplificador óptico.....	15
II.9.4 Multiplexores y demultiplexores.....	21
II.9.5 Multiplexores ópticos add/drop.....	25
II.9.6 Fotodetectores.....	26
II.10 SDH	28

II.10.1 Transporte tributarios SDH con CWDM	29
II.11 Gigabit Ethernet.....	29
II.11.1 Transporte GbE con CWDM.....	30
II.12 Redes metropolitanas.....	30
II.13 Topologías.....	31
II.13.1 Punto a punto.....	31
II.13.2 Anillo	32
II.14 Gestión	33
II.15 Esquemas de protección.....	34
II.16 Rendimiento y fiabilidad.....	36
II.17 Escalabilidad	36
II.18 Energía	37
II.19 Fundamentos de la Reflectometría	38
CAPITULO III	40
III.1 Metodología	40
III.1.1 Fase 1	40
III.1.2 Fase 2	40
III.1.3 Fase 3	41
III.1.4 Fase 4	41
III.1.5 Fase 5	41
III.2 Pruebas de reflectometría y potencia.....	41
III.2.1 Procedimiento prueba de reflectometría	42
III.2.2 Procedimiento prueba de potencia.....	42
CAPITULO IV.....	44
IV.1 Descripción de la Red de fibra óptica	44
IV.1.1 Pruebas de potencia	46
IV.1.2 Pruebas de reflectometría	48
IV.1.3 Análisis de los resultados.....	48
IV.2 Estudio de tráfico	50
IV.3 Estudio de tráfico a mediano plazo	52
IV.4 Determinación de los equipos a instalar.....	53
IV.5 Diseño.....	55
IV.5.1 Presupuesto de pérdidas.....	55
IV.5.2 Topología	56
IV.5.3 Asignación de longitudes de onda.....	59
IV.5.4 Fibras liberadas	62
IV.5.5 Interconexión	62
IV.5.6 Esquema de protección.....	72
IV.5.7 Disponibilidad del sistema.....	72
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

BIBLIOGRAFÍAS	78
GLOSARIO.....	80
ANEXO N° 1	81
Descripción del equipo CWDM LightStack MXA.....	81
Módulos transceptores.....	82
Módulo Mux	84
Módulo GEM.....	84
Módulo SSM.....	85
Configuración de los puertos ópticos del SSM.....	86
Gestión.....	87
Aprobaciones por entes reguladores	87
Características eléctricas	87
ANEXO N°2	88

LISTA DE TABLAS

1. Comparación entre los amplificadores para los sistemas CWDM	19
2. Protección OMS según la topología.....	35
3. Protección OCh según la topología.....	35
4. ODF donde se realizaron las pruebas.....	45
5. Pruebas de potencia.....	46
6. Pérdidas máximas aceptables por enlace.	49
7. Fibras ópticas oscuras escogidas.....	50
8. Fibras oscuras y fibras requeridas para nuevos servicios.....	52
9. Matriz de cumplimiento.	54
10. Presupuesto de pérdidas.	56
11. Clasificación de las redes ópticas.	57
12. Posibles nodos a conectar según topología.	58
13. Fibras liberadas luego de la instalación del diseño propuesto.....	62
14. Nodo CCS. Cableado de línea.	63
15. Nodo CCS. Cableado de tributarios.....	64
16. Nodo CNT. Cableado de línea.....	64
17. Nodo CNT. Cableado de tributarios.	65
18. Nodo CHG. Cableado de línea.	65
19. Nodo CHG. Cableado de tributarios.	66
20. Nodo NGR. Cableado de línea.	66
21. Nodo NGR. Cableado de tributarios.	66
22. Nodo PMA. Cableado de línea.	67
23. Nodo PMA. Cableado de tributarios.....	67
24. Nodo CCO. Cableado de línea.....	68
25. Nodo CCO. Cableado de tributarios.	68
26. Nodo FAJ. Cableado de línea.	69
27. Nodo FAJ. Cableado de tributarios.....	69
28. Nodo SMT. Cableado de línea.....	70
29. Nodo SMT. Cableado de tributarios.	70
30. Nodo MAD. Cableado de línea.....	71
31. Nodo MAD. Cableado de tributarios.	71
32. Servicios soportados.....	81
33. Potencia de Tx. Interfaz CWDM SFP w. Con Receptor PIN.....	83
34. Sensibilidad de Rx. Interfaz CWDM SFP w. Con receptor PIN.....	83

35. Potencia de Tx. Interfaz CWDM SFP w. Con receptor APD..... 83
36. Sensibilidad de Rx. Interfaz CWDM SFP w. Con receptor APD..... 84
37. Potencia de Tx. Interfaz CWDM GEM Y SSM 84
38. Sensibilidad de Rx. Interfaz CWDM GEM Y SSM 84

LISTA DE FIGURAS

1. Plan de longitudes de onda ITU G.694.2	6
2. Fibra óptica multimodo de salto de índice	9
3. Fibra óptica multimodo de índice gradual.....	9
4. Fibra óptica monomodo	10
5. Fibra monomodo, atenuación vs. longitud de onda	11
6. Comparación entre fibras, atenuación vs. longitud de onda.....	13
7. Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA).	16
8. Diagrama simplificado de un amplificador EDFA.	16
9. Amplificadores LRA en topologías punto a punto y anillo.....	21
10. Técnica de multiplexación/demultiplexación basada en prisma.	22
11. Técnica de multiplexación/demultiplexación basada en difracción.	23
12. Técnica de multiplexación/demultiplexación AWG.....	24
13. Filtro de película delgada	24
14. Add and drop	25
15. Fotodiodo PIN	27
16. Fotodiodo de Avalancha.....	28
17. (a) Punto a Punto con 2 fibras. (b) Punto a Punto con 1 fibra.....	32
18. Ejemplo anillo CWDM.	33
19. Elementos que forman un sistema gestor de red.....	34
20. Protección OMS 1+1.....	35
21. Protección OMS – DPRing	36
22. Convivencia CWDM con DWDM.....	37
23. Prueba de potencia.	43
24. Anillo de F.O. Caracas #6	45
25. Prueba de potencia.	49
26 Trafico cursante por el anillo urbano Caracas #6	51
27. Fibras disponibles entre cada una de las centrales.....	57
28. Topología estrella.....	58
29. Vista frontal del MXA, indicando la ubicación de los módulos.....	81
30. Vista posterior del MXA, indicando la ubicación de los módulos.	81

LISTA DE GRAFICAS

1. Tráfico luego de la instalación de los equipos CWDM	60
2. Asignación de longitudes de onda.	61
3. Nodo CCS. Interconexión Equipos CWDM.	64
4. Nodo CNT. Interconexión Equipos CWDM.	65
5. Nodo CHG. Interconexión Equipos CWDM.....	66
6. Nodo NGR. Interconexión Equipos CWDM.....	67
7. Nodo PMA. Interconexión Equipos CWDM.	68
8. Nodo CCO. Interconexión Equipos CWDM.....	69
9. Nodo FAJ. Interconexión Equipos CWDM.	70
10. Nodo SMT. Interconexión Equipos CWDM.....	71
11. Nodo MAD. Interconexión Equipos CWDM.....	72

LISTA DE SIGLAS

ADM: Add/Drop Multiplexor. Multiplexor de agregación y extracción.

AWG: Array Waveguide Grating. Matriz de guía de ondas.

BER: Bit Error Rate. Velocidad de bit errados.

CLI: Command Line Interface. Interfaz de línea de comandos.

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing. Multiplexación por división de longitud de onda gruesa. UIT traduce CWDM como, multiplexación por división aproximada de longitud de onda.

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier. Amplificador de fibra dopada con Erbio.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing. Multiplexación por división de longitud de onda densa.

DSF: Dispersion Shifted Fiber. Fibra de dispersión desplazada.

ECC: Embedded Communications Channel. Canal de comunicación de datos, similar al SDH/SONET DCC o G.709 GCC.

HTTP: Hypertext transfer protocol. Protocolo de transferencia de hipertexto.

LRA: Lumped Raman Amplifier. Amplificador Raman Discreto.

LOS: Loss of Signal. Pérdida de señal.

MTBF: Mean Time Between Failures. Tiempo medio entre fallas.

MTTR: Mean Time to Repair. Tiempo medio para reparación.

NZDSF: Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber. Fibra de dispersion desplazada no nula.

OADM: Optical Add/Drop Multiplexor. Multiplexor óptico de agregación y extracción.

OSNCP: Optical Subnetwork Connection Protection. Subred de protección de conexión óptica.

OSS: Operational support system. Sistema de soporte operacional.

OTDR: Optical Time Domain Reflectometer. Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo.

SNMP: Simple Network Management Protocol, Protocolo simple de gestión de red.

SFP: Small Form-factor Pluggable transceiver. Transceptor enchufable de factor de forma pequeño.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy. Jerarquía digital sincronía.

SNMP: Simple Network Management Protocol. Protocolo simple de gestión.

SSM: SDH / SONET Support Module. Módulo del LightStack MXA, para el transporte de las señales SDH/SONET.

TMN: Telecommunication Management Network. Red para la administración de telecomunicaciones.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UIT-T: Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT.

WDM: Wavelength Division Multiplexing. Multiplexación por división de longitud de onda.

LISTA DE ACRÓNIMOS

CATV: Cable Television. Televisión por cable.

CANTV: Compañía Anónima Teléfonos de Venezuela.

FICON: Fiber CONnection protocol. Protocolo de conexión por fibra.

GEM: Gigabit enhancement module. Módulo del LightStack MXA para realizar transporte de Gigabit Ethernet.

LÁSER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, amplificación de luz mediante emisión inducida de radiación.

OTU-1: Optical transport unit 1. Unidad de transporte óptico a 2.5 Gb/s UIT G.709.

OTU-2: Optical transport unit 2. Unidad de transporte óptico 10 Gb/s UIT G.709.

SOA: Semiconductor Optical Amplifier. Amplificador óptico semiconductor.

SONET: Synchronous Optical Network. Red óptica síncrona

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto pretende servir de soporte para la toma de decisiones en cuanto a la utilización de la tecnología CWDM en la red de transporte urbana, de la Corporación CANTV, para el incremento de su capacidad, además de servir como base para el desarrollo de la correspondiente Ingeniería de Detalle.

CWDM, es una de las tecnologías que ha venido incorporándose en los últimos años en las redes de transporte urbanas de las empresas de telefonía y transporte a nivel mundial, ya que permite la utilización mas eficiente de la fibra óptica, añadiendo múltiples servicios a una misma fibra mediante la multiplexación por longitud de onda, a menor costo que con DWDM.

En el presente trabajo realizamos los pasos básicos para esta incorporación en CANTV, realizando en primer lugar un estudio de la red, donde se incluye la caracterización de la fibra óptica instalada mediante las pruebas típicas para este tipo de cableado, además de la especificación del tráfico cursante en la red a nivel de servicio, es decir, SDH y GbE.

Seguidamente, en base a la información adquirida en el estudio de la red, se determinan los parámetros con los cuales se realiza el diseño y se escogen los equipos a instalar. Estos equipos se seleccionan, de entre los proveedores, mediante una encuesta evaluada, matriz de cumplimiento.

Luego, con los parámetros de diseño y las especificaciones de los equipos, se diseña la red CWDM, describiendo como se realizarán las interconexiones entre los equipos.

Por último se entregan algunas recomendaciones para la realización de la Ingeniería de Detalle.

Algunas de las siglas están en Inglés y otras en Español, esto se debe al uso común que se de en ellas, es decir, se utilizará preferentemente el español pero si su uso frecuente es sólo en inglés se utilizarán dichas siglas en ese idioma.

CAPITULO I

I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Corporación CANTV requiere incrementar la capacidad de su red de transmisión urbana, y para ello emprendió estudios técnico-económicos que arrojaron resultados sobre cuál es la forma más conveniente de hacerlo. En algunas localidades, el tendido de más fibra óptica resultaba favorable, en otras la optimización del uso de la fibra óptica mediante el cambio de la tecnología era la mejor opción. En nuestro caso de estudio se decidió por el cambio de tecnología en un anillo de transmisión.

Nos referimos al Anillo SDH (Synchronous Digital Hierarchy) Caracas 6 [1], por el cuál se pretende transportar, además del flujo actual (SDH STM-16) otros flujos STM y GigaBit Ethernet, utilizando la tecnología CWDM. Las razones de la escogencia de dicha tecnología no serán tratadas en el presente trabajo.

I.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La Corporación CANTV se encuentra constantemente estudiando como aumentar la eficiencia de su red de transporte, siempre observando hacia el mañana, estimando las futuras necesidades de lo clientes para poder satisfacer la demanda en un mercado cada vez mas competitivo y exigente en cuanto a velocidades y calidad de servicio. Para poder dar respuesta a las crecientes demandas, debe incrementar constantemente las capacidades de transporte de sus redes urbanas e interurbanas.

Los estudios y la creación de las redes DWDM y CWDM, ésta última diseñada especialmente para entornos urbanos, se ha extendido entre los proveedores de servicios de transporte y empresas de telefonía a nivel mundial, lo que incentiva el estudio para su paulatina incorporación en la Corporación CANTV, la cual ya posee un anillo CWDM en la red de transporte del Distrito Capital, cuyo proyecto fue una experiencia positiva, por lo que se apostó de nuevo por el uso de esta tecnología.

I.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.3.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar ante la Corporación CANTV un estudio de factibilidad técnica de migrar el anillo de transmisión urbana número seis (6) de tecnología SDH, hacia la tecnología CWDM, utilizando la red de fibra óptica instalada, para de esta manera incrementar su capacidad, tomando en cuenta las proyecciones de los requerimientos futuros que la red deba tener.

I.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los requerimientos de tráfico de la red a mediano plazo, para así obtener la capacidad total que deberá tener el diseño propuesto.

Caracterizar las fibras oscuras disponibles, entre cada uno de los nodos del anillo. A partir de los resultados arrojados determinar si cumplen con las exigencias técnicas de los sistemas CWDM, estableciendo así la compatibilidad con la planta instalada.

Determinar los equipos a instalar, describiéndolos brevemente como parte de lo que corresponde a la Ingeniería de Detalle.

Redactar recomendaciones para la implementación de la plataforma.

CAPITULO II

II.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a búsquedas realizadas en las bibliotecas de la Universidad Central de Venezuela y de la Universidad Simón Bolívar, con sus respectivos sistemas automatizados, se encontraron Trabajos de Grado que aportan información indispensable para la elaboración de los procedimientos a seguir en la caracterización de la fibra óptica instalada y escogencia de los equipos. Éstos son:

“Evaluación del desempeño de diversos tramos de la red de fibra óptica instalada para la introducción de los sistemas DWDM a la red de CANTV”. / Faimy Natacha Molina Blanco. [2]

“Evaluación y selección de los sistemas de tecnología DWDM para su integración en la red de transporte CANTV”. / Pedro Javier Mencia Rondón. [3]

Específicamente en cuanto al desarrollo de una red CWDM no se consiguió ningún trabajo previo, pero sí sobre DWDM. Ya que ambas tecnologías se basan en WDM, el siguiente trabajo será considerado como antecedente:

“Implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth y evaluación teórica de equipos DWDM”. / Carlos Ramiro Vieites Freire.[4]

II.2 BASES TEÓRICAS

Primero que nada, para la comprensión del presente Trabajo de Grado, es necesario conocer qué es CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), para ello, en primera instancia, explicamos qué es WDM (Wavelength Division Multiplexing).

II.3 WDM

El ancho de banda, en términos de bit/s, de una conexión mediante fibra óptica se puede incrementar, bien sea, transmitiendo datos más rápidamente sobre una

longitud de onda o bien transmitiendo diversas longitudes de onda en una única fibra, éste último tipo de transmisión es conocida como WDM. Se consigue usando un multiplexor para combinar longitudes de onda, viajando por diferentes fibras, en una sola fibra. En el otro extremo de la fibra, un demultiplexor separa las longitudes de onda y las dirige hacia diferentes fibras.

II.4 CWDM

Las siglas expresan Coarse Wavelength Division Multiplexing, lo que en español traduce multiplexación por división de longitud de onda gruesa, es decir, la multiplexación de los afluentes de las diversas fibras concurren hacia diversas longitudes de onda sobre una única fibra y además son espaciadas de forma gruesa. Se dice gruesa ya que se compara con un sistema similar llamado DWDM, en el que el espaciado es menor. De esta forma se obtiene un incremento sustancial en la capacidad de transmisión de de cada fibra.

CWDM permite transportar cualquier formato de transmisión en cada canal óptico. Utilizando diferentes longitudes de onda se puede enviar información síncrona o asíncrona, a través de una misma fibra.

Con la actual tecnología CWDM disponible en el mercado (Junio de 2005), se puede transmitir por una fibra óptica con ciertas características esenciales a una tasa de bits de hasta 20 Gb/s por segundo a longitudes que alcanzan los 75 kilómetros, para transmisiones digitales banda base.

II.5 HISTORIA DEL CWDM

La tecnología de multiplexación de longitud de onda gruesa fue utilizada comercialmente por primera vez a principios de la década de los 80's para transportar señales digitales de vídeo a través de fibras multimodo. La corporación Quante creó un sistema de 4 longitudes de onda que operaban en la ventana de 800 nm con 4 canales, cada una operando a 140 Mbits/s. Estos sistemas fueron usados principalmente en conexiones CATV (Televisión por cable), sin embargo los sistemas CWDM no generaban gran interés entre los proveedores de servicios.

Para el año 2003, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) estandarizó un plan de longitudes de onda para CWDM, lo que fomentó la incorporación de dicha tecnología en las redes de los proveedores de servicios de telefonía y transporte de datos.

II.6 ESTÁNDAR ITU G.694.2

La UIT ha estandarizado un plan de distribuciones de longitudes de onda para CWDM que consta de 18 longitudes de onda, en la recomendación G.694.2 versión 12/2003, desde 1271 nm hasta 1611 nm con una separación entre portadoras de 20 nm. Es de notar que en versiones anteriores el plan estaba definido desde 1270 hasta 1610, pero se trasladó 1 nm para ser consistente con las prácticas comunes en la industria, como se muestra en la FIGURA #1.

Este plan se diseñó para distancias de hasta aproximadamente 50 km por cable de fibra óptica monomodo, como se indica en las recomendaciones G.652, G.653 y G.655.

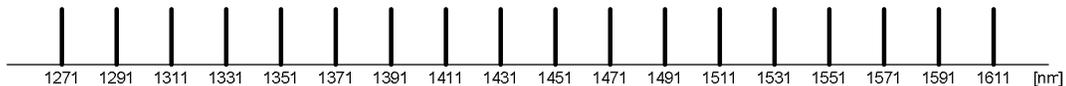


FIGURA # 1. Plan de longitudes de onda ITU G.694.2

Este plan hace posible la transmisión simultánea de varias longitudes de onda con una separación suficiente para permitir la utilización de fuentes sin dispositivos de refrigeración, con tolerancias de selección de longitud de onda menos exigentes y filtros pasabanda amplios.

La UIT espera que la variación total de la longitud de onda de la fuente sea aproximadamente de ± 6 a ± 7 nm, lo cuál es compatible con las tecnologías existentes para filtros.

La variación de longitud de onda depende fundamentalmente de dos factores: primero, el fabricante del sistema láser puede variar la longitud de onda alrededor de la longitud de onda nominal con el fin de obtener un mayor rendimiento y/o reducir las tolerancias de fabricación. Segundo, la utilización de láser sin

refrigeración hará variar la longitud de onda en función de la temperatura, dentro de la gama de temperaturas especificadas para el láser.

Nota: Como se puede observar en la FIGURA #1, todos los canales CWDM recomendados por la UIT, comienzan en 1 y terminan en 1, por lo tanto es posible hacer referencia a cada uno de ellos por medio del par de números centrales. Por ejemplo, para el canal 1471 el par correspondiente sería el 47. Esta forma de representarlos, es común encontrarla en la bibliografía y en los manuales técnicos.

De ésta forma, cuando se menciona el canal 47, se está refiriendo a un conjunto de información incluyendo cosas como rango completo de longitud de ondas válidas, especificaciones de potencia óptica y el cumplimiento de un documento completo de recomendaciones, específicamente ITU G.694.2.

II.7 FUNCIONES DEL SISTEMA CWDM

Esencialmente un sistema CWDM consta de un pequeño número de funciones principales de nivel físico que describimos a continuación:

Generación de la señal: la fuente, un láser de estado sólido, debe suministrar una luz estable dentro de un ancho de banda específico que transporta los datos modelados como una señal analógica.

Combinación de señales: los sistemas CWDM emplean multiplexores para combinar las señales, proceso que posee pérdidas inherentes asociadas a la multiplexación y demultiplexación que dependen del número de canales, las cuales pueden mitigarse mediante amplificadores ópticos.

Transmisión de señales: es posible realizar la transmisión de las señales mediante diferentes tipos de fibra óptica, dependiendo de este se pueden transmitir más o menos canales.

Separación de las señales recibidas: en el lado del receptor, las señales multiplexadas deben ser separadas, aunque esta tarea parece ser simplemente el opuesto a la combinación de señales, en realidad es técnicamente más difícil.

Recepción de señales: la señal se demultiplexa para luego ser recibida por un fotodetector.

II.8 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es una guía de ondas en forma de filamento, generalmente de polisilicio aunque también puede ser de materiales plásticos, capaz de guiar una potencia lumínica, introducida por un láser o un LED. Las fibras utilizadas en transmisiones a largas distancias son siempre de vidrio, utilizándose las de plástico solo en algunas redes de computadoras y otras aplicaciones de corta distancia, debido a que presentan mayor atenuación que las de cristal.

Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.

Así, en el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

El ancho de banda de la fibra óptica es aproximadamente de 10 THz, que equivale aproximadamente a 10 Tbps, ya que su eficiencia espectral es de 1bps/1Hz.

II.8.1 Tipos de fibra óptica

Básicamente, existen dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo. La fibra óptica multimodo es adecuada para distancias cortas, como por ejemplo redes LAN o sistemas de video vigilancia, mientras que la fibra óptica monomodo está diseñada para sistemas de comunicaciones ópticas de larga distancia.

II.8.1.1 Fibra óptica multimodo

Este tipo de fibra fue el primero en fabricarse y comercializarse. Su nombre proviene del hecho de que transporta múltiples modos de forma simultánea, ya que este tipo de fibra se caracteriza por tener un diámetro del núcleo mucho mayor que las fibras monomodo. El número de modos que se propagan por una fibra óptica depende de su apertura numérica o cono de aceptación de rayos de luz a la entrada. El mayor diámetro del núcleo facilita el acoplamiento de la fibra., pero su principal inconveniente es que tiene un ancho de banda reducido como consecuencia de la dispersión modal. Los diámetros de núcleo y cubierta típicos de estas fibras son 50/125 μm y 62,5/125 μm .

Existen dos tipos de fibra óptica multimodo: de salto de índice o de índice gradual. En el primer caso, existe una discontinuidad de índices de refracción entre el núcleo, $n_1 = \text{constante}$, y la cubierta o revestimiento de la fibra, $n_2 = \text{constante}$. Por el contrario, en el segundo caso la variación del índice es gradual. Esto permite que en las fibras multimodo de índice gradual los rayos de luz viajen a distinta velocidad, de tal modo que aquellos que recorran mayor distancia se propaguen más rápido, reduciéndose la dispersión temporal a la salida de la fibra. Observar FIGURA #2 y FIGURA #3.

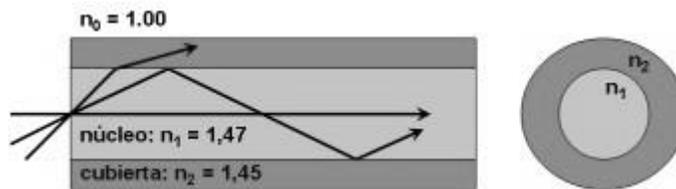


FIGURA # 2. Fibra óptica multimodo de salto de índice

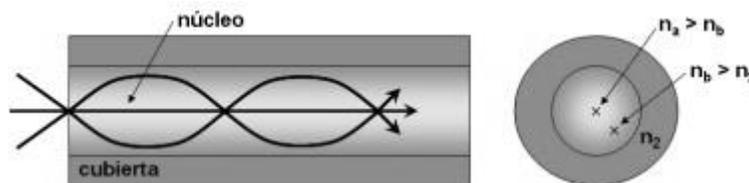


FIGURA # 3. Fibra óptica multimodo de índice gradual

II.8.1.2 Fibra óptica monomodo

Las fibras ópticas monomodo tienen un diámetro del núcleo mucho menor al de las multimodo, permitiendo que se transmita un único modo y se evite la dispersión multimodal. Los diámetros de núcleo y cubierta típicos para estas fibras son de $9/125 \mu\text{m}$. Al igual que las fibras multimodo, las primeras fibras monomodo eran de salto de índice, pero en la actualidad existen diseños bastante más complejos del perfil de índice de refracción que permiten configurar múltiples propiedades de la fibra. Las fibras monomodo también se caracterizan por una menor atenuación que las fibras multimodo, aunque como desventaja resulta más complicado el acoplamiento de la luz, además las tolerancias de los conectores y empalmes son más estrictas. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias y transmitir elevadas tasas de bit, las cuales vienen limitadas principalmente por la dispersión cromática y los efectos no lineales.

Este tipo de fibra tiene una banda de paso en el orden de los 100 GHz/Km.

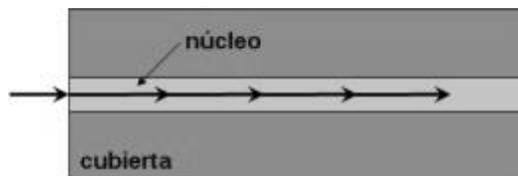


FIGURA # 4. Fibra óptica monomodo

II.8.1.3 Fibra óptica monomodo estándar

Por sus siglas en inglés SSMF (Standard Single-Mode Fiber), ésta fibra se caracteriza por una atenuación en torno a los 0,2 dB/km y una dispersión cromática de unos 16 ps/km-nm en la tercera ventana, 1550 nm. La longitud de onda de dispersión nula se sitúa en torno a los 1310 nm lo que corresponde a la segunda ventana donde su atenuación aumenta ligeramente. Está normalizada en la recomendación ITU G.652 y existen millones de kilómetros de este tipo de fibra instalados en redes ópticas de todo el mundo, que se benefician de sus bajas pérdidas a 1550 nm y de la utilización de los amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFA). Algunos ejemplos de este tipo de fibra serían: SMF-28 (Corning) y

AllWave (Lucent). En el segundo caso, además, la fibra se caracteriza por eliminar el pico de absorción de agua, por lo que dispone de una mayor anchura espectral para la transmisión en sistemas multicanal CWDM. En la FIGURA #5 se representa la atenuación [dB/Km] en función de la longitud de onda [nm], de la fibra óptica monomodo estándar (fibra convencional) y de la fibra AllWave (fibra zero water peak).

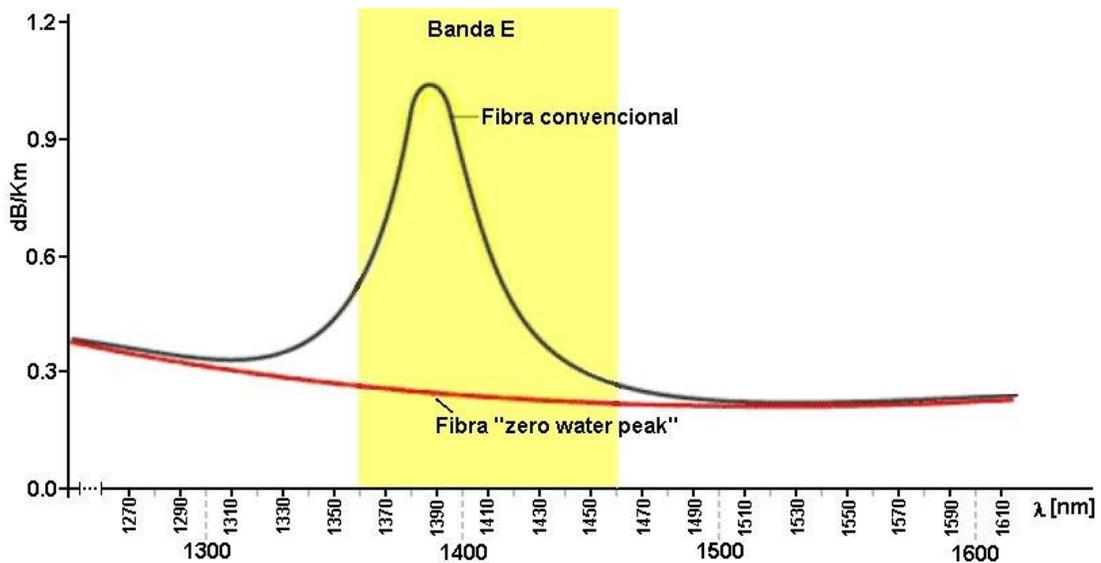


FIGURA # 5. Fibra monomodo, atenuación vs. longitud de onda

II.8.1.4 Fibra óptica de dispersión desplazada

Mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir desplazar la longitud de onda de dispersión nula a la tercera ventana, surgiendo de este modo las fibras de dispersión desplazada DSF (Dispersion Shifted Fiber). Sus pérdidas son ligeramente superiores, 0,25 dB/km a 1550 nm, pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra monomodo estándar. Luego este tipo de fibras no son en principio adecuadas para sistemas DWDM ni para CWDM, ya que el fenómeno no lineal de mezclado de cuatro ondas produce degradaciones significativas. Este tipo de fibras se describe en la recomendación ITU G.653.

II.8.1.5 Fibra óptica de dispersión desplazada no nula

Para resolver los problemas de no linealidades de la fibra de dispersión desplazada surgió el tipo de fibras NZDSF (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber), que se caracterizan por valores de dispersión cromática reducidos pero no nulos. En el mercado se pueden encontrar fibras con valores de dispersión tanto positivos (NZDSF+) como negativos (NZDSF-), con el fin de ser utilizadas en sistemas de gestión de dispersión. En la recomendación UIT G.655 se puede encontrar información sobre este tipo de fibras. Algunos ejemplos de este tipo de fibras serían: LEAF (Corning), True-Wave (Lucent) y Teralight (Alcatel).

II.8.1.6 Fibra óptica compensadora de dispersión

Este tipo de fibra se caracteriza por un valor de dispersión cromática elevado y de signo contrario al de la fibra estándar. Se utiliza en sistemas de compensación de dispersión, colocando un pequeño tramo de DCF (Dispersion Compensating Fiber) para compensar la dispersión cromática acumulada en el enlace óptico. Como datos negativos, tiene una mayor atenuación que la fibra estándar 0,5 dB/km aproximadamente y una menor área efectiva.

II.8.2 Relación fibra óptica y cantidad de canales CWDM

La posibilidad de transmitir mayor o menor número de canales utilizando la tecnología CWDM es función de las características de la fibra óptica utilizada y de la longitud de la misma.

Las fibras monomodo convencionales, recomendación UIT G.652, presentan una atenuación significativa desde los 1350 nm hasta 1450 nm debido a que entre esas longitudes existe un pico de absorción del agua. Graficando las características de atenuación dB/distancia [km] versus longitud de onda en nm observamos la siguiente FIGURA #6.

Atenuación de la fibra óptica

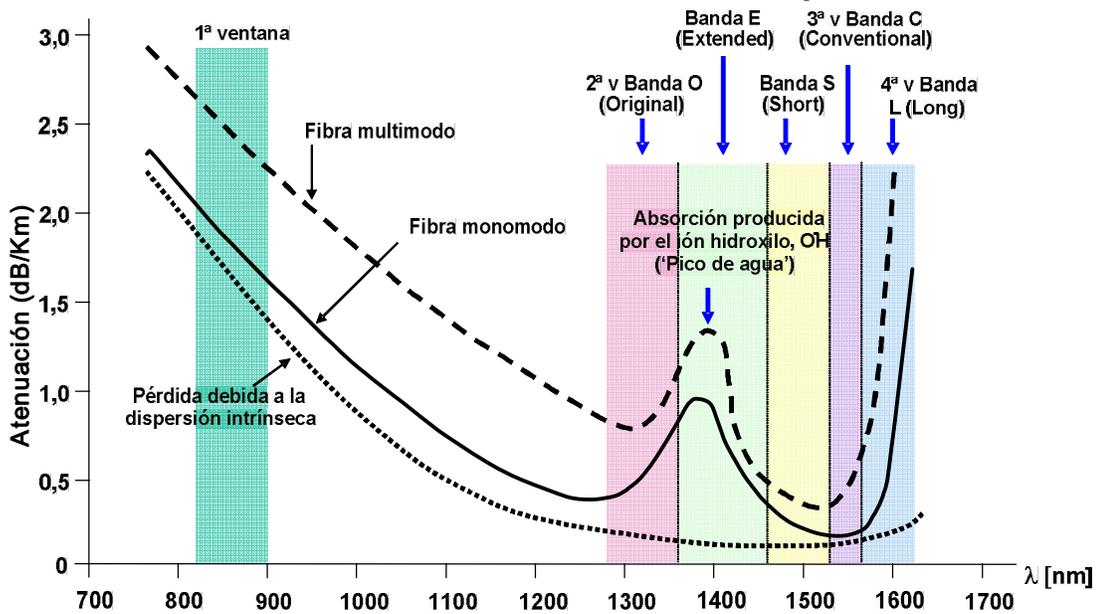


FIGURA # 6. Comparación entre fibras, atenuación vs. longitud de onda

Este pico reduce la cantidad de canales CWDM que se pueden transmitir por dicha fibra a 12, de los 18 establecidos en la recomendación UIT 694.2.

Al mejorar los procesos de fabricación de la fibra, el “pico de agua” a 1383 nm se ha reducido bastante, lo que ha generado en un nuevo tipo de fibra llamada ZWPF (Zero Water Peak Fiber), que se encuentran bajo la recomendación de la UIT G.652.C. En la GRAFICA #5, se muestra una comparación entre ambas fibras.

Este tipo de fibras G.652.C conducen a un aumento de un 33% de la capacidad. Considerando el espaciado entre canales de 20 nm como lo define la UIT, se pueden transmitir hasta 16 canales CWDM, cubriendo la banda de 1310 nm a 1610 nm sobre una fibra ZWPF. En cambio, una fibra SSMF puede transportar 12 canales o incluso menos dependiendo de la posición e intensidad del pico de absorción. Por debajo de 1310 nm, no obstante, predominan las pérdidas causadas por dispersión de Rayleigh y no se puede transmitir en entornos metropolitanos, quedando su uso limitado al bucle de abonado o aplicaciones de corto alcance como aquellas definidas

en IEEE 802.3ae, como por ejemplo Ethernet a 10 Gbit/s; 10GBASE-SR, 10GBASE-LR.

II.9 COMPONENTES

Los componentes esenciales de un sistema CWDM se pueden clasificar por su posición en el sistema de manera siguiente:

En el lado del transmisor: el láser que debe ser de longitud de onda precisa y estable, además multiplexores ópticos (MUX) o multiplexores ópticos de agregación y extracción (OADM).

En el enlace: fibra óptica de bajas pérdidas en el espectro de longitudes de onda relevantes y amplificadores ópticos de ganancia plana.

En el lado receptor: fotodetectores y demultiplexores ópticos usando filtros de poco espesor o elementos difractivos, para así reducir la pérdida por inserción.

La información sobre éstos y otros componentes, junto a sus tecnologías asociadas, se discuten a continuación.

II.9.1 Láser

El láser es el emisor de luz. Los más precisos en cuanto a la longitud de onda que emiten, se diseñan incorporándoles sistemas de refrigeración, evitando así que los cambios de temperatura afecten sus componentes y por lo tanto la longitud de onda de la luz que emiten.

En los sistemas CWDM, se utiliza un tipo de láser que no utiliza refrigeración, por lo tanto son menos precisos pero también más económicos y sencillos de fabricar. Por lo tanto la UIT en su recomendación G.694.2 tomó en consideración la imprecisión de éstos láser para diseñar el plan de canales recomendado.

II.9.2 Amplificadores y regeneradores

Debido a que los sistemas CWDM son usados, en general, para redes de corta distancia, es posible que no se requiera el uso de amplificadores ni de regeneradores, ya que la señal puede llegar a su destino con los niveles adecuados de potencia y de integridad.

En ocasiones, los niveles de potencia e integridad no son los adecuados, debido al número de dispositivos pasivos presentes en la fibra o porque se han excedido las longitudes recomendadas para este tipo de sistemas, por lo tanto es necesaria la utilización de dispositivos amplificadores y regeneradores.

A continuación se explica qué son y cómo funcionan los amplificadores ópticos y los regeneradores usados en las redes CWDM.

II.9.3 Amplificador óptico

Son amplificadores que no realizan ninguna conversión de la señal óptica a eléctrica ni viceversa, son dispositivos meramente ópticos, que amplifican todas las señales que se encuentren en un rango de longitudes de onda dentro de la fibra. Éste proceso, el de amplificación, se realiza sin demultiplexación de las señales recibidas ni con procesos individualizados para cada una de ellas, además no las reformatea ni ajusta.

Son utilizados en los enlaces ópticos para aumentar la potencia de la señal, tanto antes de la demultiplexación como después de la multiplexación, dado que ambos procesos introducen pérdidas en el sistema.

En el momento de ampliar la capacidad de la red, el único requerimiento es instalar interfaces adicionales o de mayor velocidad en el extremo de la fibra para aumentar el número de longitudes de onda, específicamente en los equipos CWDM, por lo tanto reduce los costos asociados a la expansión de la red, ya que los amplificadores ópticos amplifican el nuevo canal.

II.9.3.1 Amplificador de fibra dopada con Erblio

Uno de los tipos de amplificadores ópticos es el amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA), el cuál consiste en una fibra contaminada con partículas de Erblio, un elemento perteneciente a las tierras raras, y un diodo láser que trabaja a 1480 ó 980 nm. El Erblio es un elemento que, cuando se excita, emite luz cuya longitud de onda está alrededor de los 1550 nm.



FIGURA # 7. Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA).

El funcionamiento es el siguiente, una señal débil entra en una fibra dopada con Erblio, a la que además le es inyectada una luz a 980 nm ó 1480 nm mediante una bomba láser, la cual excita a los iones de Erblio liberando su energía almacenada con luz adicional de 1550 nm, cómo este proceso continúa por la fibra, la señal se refuerza, obteniéndose así la amplificación de la señal transmitida. Las fibras dopadas de Erblio suelen ser de unos 1020 m, y pueden alcanzar ganancias de varias decenas de decibeles con una señal de bombeo de unos cuantos mili Volt. En la FIGURA #8 se observa un diagrama simplificado de un EFDA.

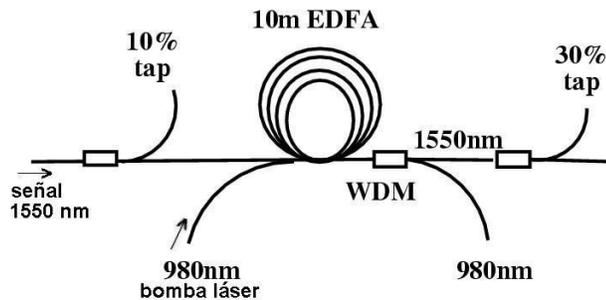


FIGURA # 8. Diagrama simplificado de un amplificador EDFA.

Los parámetros clave de los amplificadores ópticos son la ganancia, el nivel de ruido y la potencia de salida. Típicamente son capaces de ganancias de hasta 30dB y potencias de salida a lo sumo de 17dBm, sin embargo los parámetros a evaluar a la hora de seleccionar un EDFA son el bajo ruido y la igualdad de la ganancia.

El bajo ruido es un requerimiento porque es amplificado con la señal, además las emisiones espontáneas del Erbium añaden ruido. Dado que el efecto es acumulativo, y no se puede filtrar, la relación señal/ruido es un factor limitativo en el número de amplificadores que se pueden concatenar, y por lo tanto también limita la longitud del enlace. En la práctica, las señales pueden viajar hasta 129 Km y luego se deben regenerar, esto es porque el amplificador óptico solo amplifica las señales y no realiza las funciones 3R (Reshape, Retime, Retransmit). El EDFA se puede emplear en las bandas C y L.

La igualdad de ganancia es otro parámetro a evaluar, ya que el nivel de amplificación de los EDFA esta inherentemente asociado a la longitud onda debido a su funcionamiento, aún cuando se puede corregir con filtros, los cuales se construyen en modernos EDFA.

En la fibra dopada con erbio, el factor de amplificación es insensible a la polarización de la señal incidente. Este es un hecho esencial, ya que el estado de polarización de las señales se modifica de forma aleatoria a medida que se propagan por la fibra. Además, el amplificador no deforma las señales, las amplifica idénticas. Esta propiedad subsiste en condiciones extremas de funcionamiento. Por ejemplo, con una potencia de entrada demasiado elevada, disminuye la ganancia pero la señal no se distorsiona, a diferencia del caso de los amplificadores electrónicos.

A estos beneficios, insensibilidad a la polarización y ausencia de distorsión, se añaden la compatibilidad con las fibras estándar, sin reflexiones parásitas, las escasas pérdidas en las conexiones, el ruido mínimo, la insensibilidad a la temperatura entre -40 °C y +60 °C.

II.9.3.2 Amplificador SOA

El amplificador óptico de semiconductor, por sus siglas en inglés SOA, funcionalmente es un láser semiconductor donde los electrones son excitados por los fotones de la señal entrante al amplificador.

Las ganancias ofrecidas por SOA oscilan entre los 10 dB y los 25 dB sobre cuatro longitudes de onda. El amplificador óptico de semiconductor suele ser de pequeño tamaño y el bombeo se implementa de forma eléctrica.

Como se muestra en la TABLA #1, los amplificadores SOA, a pesar de que trabajan en gran parte de la banda CWDM, desde 1470 nm a 1610 nm, poseen alta figura de ruido (<8 dB) y relativamente poca ganancia (>10 dB), lo que dificulta su uso en sistemas CWDM. Para cambiar favorablemente ésta característica de alta figura de ruido, algunos diseñadores usan dos SOA, el primero operando en la banda azul (1530 nm – 1550 nm) y el otro operando en la banda roja (1550 nm – 1570 nm), pero aún así la baja ganancia y la alta variación de la misma entre canales limitan el uso de este tipo de amplificadores ópticos.

II.9.3.3 Amplificador Raman

Estos dispositivos se basan en amplificar la señal óptica mediante el efecto Raman. A diferencia de los EDFA y de los SOA, los amplificadores Raman se basan en una interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo de alta potencia. De esta forma, la fibra convencional ya instalada puede ser usada como medio con ganancia para la amplificación Raman. Sin embargo, es mejor emplear fibras especialmente diseñadas, altamente no lineales, en las que se introducen agentes dopantes y se reduce el núcleo de la fibra para incrementar su no linealidad.

La señal de bombeo se puede acoplar a la fibra tanto en la misma dirección en la que se transmite la señal, bombeo codireccional, o en el sentido contrario, bombeo contradireccional. El más habitual es el bombeo contradireccional debido a que éste evita la amplificación de las componentes no lineales.

Para obtener una buena amplificación en la banda L sobre fibra óptica monomodo estándar, los amplificadores Raman, usan potencias de bombeo elevadas que van desde 1 W hasta 1,2 W, lo que a veces implica la utilización de dos diodos de bombeo.

En cuanto al ancho de banda, cubre la mayoría de las necesidades de las aplicaciones CWDM, abarcando un espectro que va desde los 1470 nm hasta 1610 nm.

II.9.3.4 Comparación entre los amplificadores ópticos

Dependiendo de la aplicación en específico se debe escoger el tipo de amplificador óptico que se utilizará, por lo tanto una comparación entre los diferentes tipos es de utilidad, la cual realizamos a continuación.

Los amplificadores Raman poseen un ancho de banda que cumple con los requerimientos de los sistemas CWDM, a diferencia de los EDFA que tienen un ancho de banda mucho menor y de los SOA que a pesar de que pueden cubrir toda la banda CWDM tienen ciertas limitaciones inherentes. Una tabla comparativa entre éstos tipos de amplificadores se encuentran en la TABLA #1.

TABLA # 1. Comparación entre los amplificadores para los sistemas CWDM

	EDFA	SOA	RAMAN
Rango de longitudes de onda [nm]	1530-1590	1470-1610	1470-1610
Potencia de saturación [dBm]	>20	>13	>18
Ganancia neta [dB]	>15	>10	>10
Figura de ruido [dB]	<6	<8	<6,5
PDG (típico) [dB]	0,3	0,5	0,3

Como se observa en la TABLA #1 los amplificadores EDFA poseen un límite alto de potencia antes de llegar a la saturación (>20 dBm) con baja figura de ruido (<6 dB), pero a pesar de ello no realizarán bien su tarea de amplificar en la banda S (1460 nm – 1520 nm) ni en la banda L (1600 – 1620 nm).

Los amplificadores SOA, a pesar de tener un ancho de banda amplio que abarca los requerimientos de CWDM, sufren de no linealidades que causan crostalk

entre los canales y crosstalk entre los bits, éste último conocido también como crosstalk TDM. Además tienen relativamente bajo el límite de potencia de salida antes de llegar a la saturación y alta sensibilidad a la figura de ruido y a la polarización.

Por el contrario, como se muestra en la TABLA #1, los amplificadores Raman son una buena elección para la amplificación en un sistema CWDM.[5]

II.9.3.5 Aplicaciones de los amplificadores ópticos

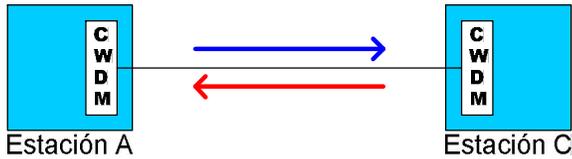
En un sistema CWDM convencional con topología punto a punto, la distancia de transmisión es principalmente limitada por el presupuesto de pérdidas. Una forma de extender esta distancia es adicionando al sistema repetidores OEO (óptico – eléctrico – óptico), que requieren a su vez sitios dentro del sistema que deben ser preparados para la instalación y operación de dicho repetidor.

La FIGURA #9 muestra una configuración simple para el despliegue de transmisiones a gran distancia empleando amplificadores.

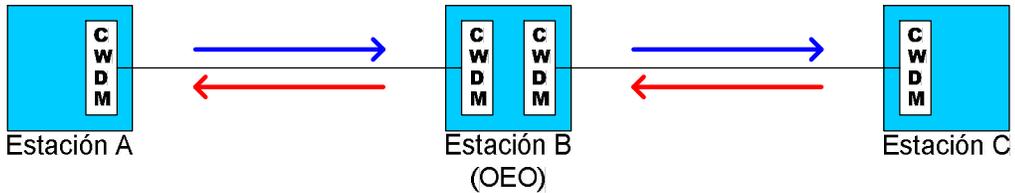
Además de a los sistemas punto a punto, los amplificadores ópticos pueden ser aplicados a redes con topología anillo que posean módulos OADM, como se muestra en la FIGURA #9 (d). El número total de nodos ópticos y el tamaño del anillo está limitado por el presupuesto de pérdidas de los sistemas CWDM y las pérdidas por inserción de cada uno de los OADM.

Para incrementar el número de nodos ópticos y/o extender el tamaño del anillo, a veces es necesario colocar repetidores OEO. Pero usar amplificadores ópticos para incrementar el presupuesto de pérdidas, flexibiliza la extensión del anillo además de la posibilidad de agregar otros nodos OADM sin usar repetidores adicionales. Tomando en consideración el costo para la construcción y el mantenimiento de sitios de repetición para el uso de regeneradores, los sistemas CWDM con empleo de amplificadores ópticos es claramente más económico. [6]

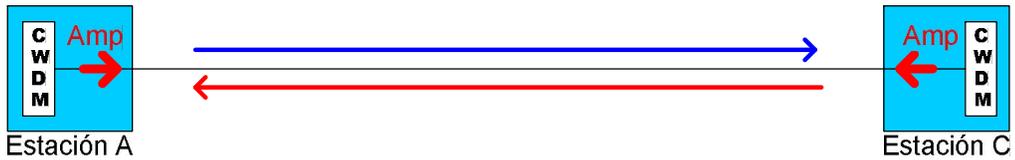
a) Sistema de transmisión convencional Punto a Punto CWDM.



b) Método convencional para la extensión de la distancia de transmisión (es necesaria otra estación B).



c) Método para la extensión de la distancia de transmisión utilizando amplificador en cada estación.



d) Compensación de pérdidas por inserción de OADM

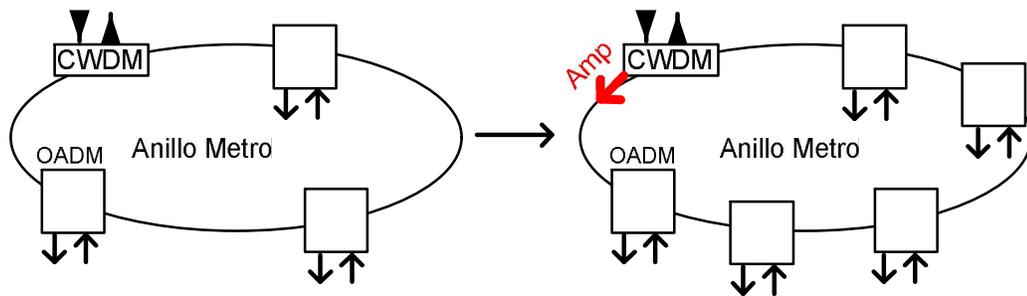


FIGURA # 9. Amplificadores LRA en topologías punto a punto y anillo.

II.9.4 Multiplexores y demultiplexores

II.9.4.1 Multiplexor

Un multiplexor toma diferentes señales provenientes de múltiples fibras y las canaliza hacia una única fibra, de forma tal que en el extremo receptor puedan ser discretamente detectadas.

II.9.4.2 Demultiplexor

Separa las componentes de luz provenientes del extremo emisor, ésta función la realiza desglosando el rayo receptor en sus componentes de longitud de onda y acoplándolos, posteriormente, a fibras individuales.

La demultiplexación se hace antes de la detección de la luz, porque los fotodetectores inherentemente son dispositivos de banda ancha y no pueden selectivamente detectar una sola longitud de onda.

En un sistema unidireccional, hay un multiplexor en el lado emisor y un demultiplexor en el lado receptor. En las comunicaciones bidireccionales, se requiere de un multiplexor y un demultiplexor en cada extremo.

Los multiplexores y los demultiplexores pueden ser de diseño pasivo o activo. El diseño pasivo se basa en prismas, rejillas de difracción, o filtros mientras que el diseño activo combina dispositivos pasivos y filtros sintonizables. Los principales retos en estos dispositivos son minimizar la diafonía y maximizar la separación de canal.

II.9.4.3. Técnicas de multiplexación y demultiplexación

II.9.4.3.1 Prisma

Una de las técnicas de multiplexación y demultiplexación se basa en un prisma, como se muestra en la FIGURA #10.

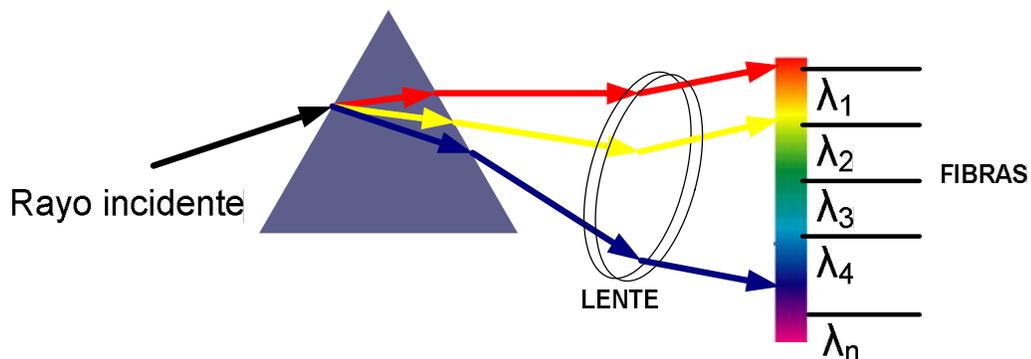


FIGURA # 10. Técnica de multiplexación/demultiplexación basada en prisma.

Un rayo de luz policromática incide en la superficie de un prisma, resultando que cada componente de longitud de onda es refractada de forma distinta, por lo tanto cada longitud de onda se distingue de la siguiente mediante un ángulo. Luego una lente enfoca cada longitud de onda a un punto donde necesita entrar en una fibra. Los mismos componentes se pueden usar de forma inversa para multiplexar diferentes longitudes de onda de una fibra.

II.9.4.3.2 Difracción e interferencia óptica

Otra técnica se basa en los principios de la difracción e interferencia óptica. Cuando una fuente de luz policromática incide en una rejilla de difracción, cada longitud de onda es difractada con un ángulo diferente y por tanto a un punto distinto del espacio. Usando una lente, esas longitudes de onda se pueden enfocar en fibras individuales.

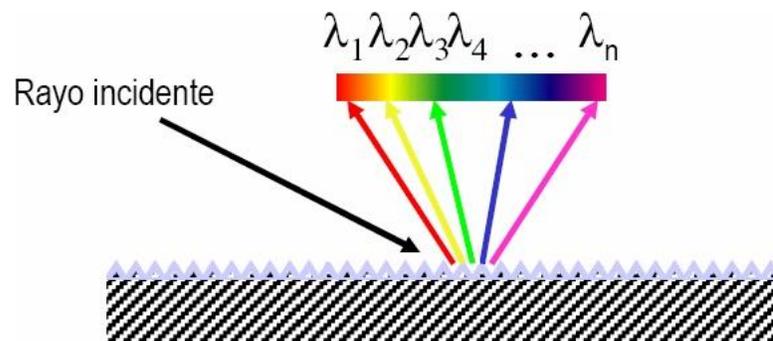


FIGURA # 11. Técnica de multiplexación/demultiplexación basada en difracción.

II.9.4.3.3 AWG

El dispositivo AWG (Array Waveguide Grating), llamado también enrutador óptico de guía de onda se basa en los principios de difracción. Un dispositivo AWG, a veces llamado enrutador óptico de guía de onda o enrutador rejilla de guía de onda, consiste en una matriz de guías de onda curvadas con una diferencia fija en la longitud del camino entre canales adyacentes. Las guías de onda están conectadas a cavidades en la entrada y la salida. Cuando la luz entra en la cavidad de entrada, es difractada y entra en la matriz de guías de onda. Allí las diferencias entre las longitudes de las cavidades, introducen un desfase en la cavidad de salida, donde un

conjunto de fibras está acoplado. El proceso consigue que diferentes longitudes de onda tengan la máxima interferencia en diferentes ubicaciones, que corresponden a los puertos de salida.

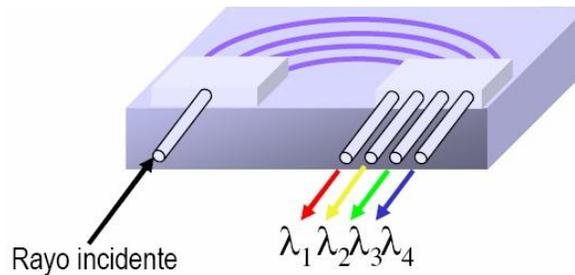


FIGURA # 12. Técnica de multiplexación/demultiplexación AWG.

II.9.4.3.4 Filtros de película delgada

Otra tecnología usa dispositivos con filtros de interferencia, llamados filtros de película delgada o filtros de interferencia multicapa. Mediante el empleo de varios filtros de película delgada en el camino óptico se pueden demultiplexar las longitudes de onda. La propiedad de cada filtro es tal que transmite una longitud de onda mientras refleja las demás. Colocando en cascada varios filtros, se pueden demultiplexar muchas longitudes de onda.

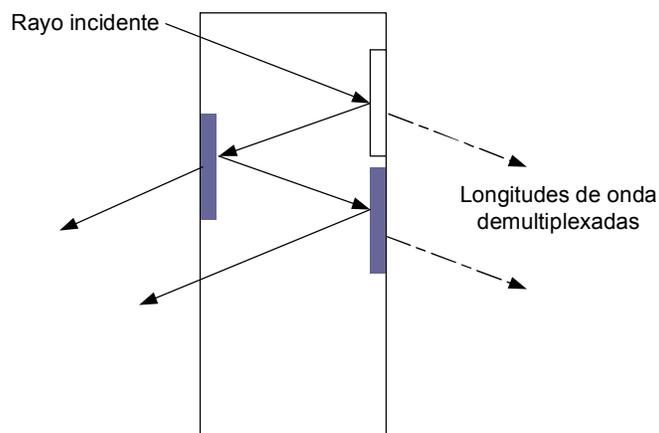


FIGURA # 13. Filtro de película delgada

De estos diseños, el AWG y los filtros de interferencia de película delgada tienen una ganancia mayor. Los filtros ofrecen buena estabilidad y aislamiento entre canales a un precio moderado pero con una alta pérdida de inserción. Los AWGs

dependen de la polarización (que se puede compensar), y reciben una respuesta espectral plana y de baja pérdida de inserción. Un inconveniente potencial es que son sensibles a las temperaturas de forma que no se pueden emplear en todos los ambientes. Su gran ventaja es que se pueden diseñar para realizar operaciones de multiplexación y demultiplexación simultáneamente. También los AWGs son mejores para las cuentas de grandes canales, donde el uso de filtros de película delgada en cascada es impracticable.

II.9.5 Multiplexores ópticos add/drop

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

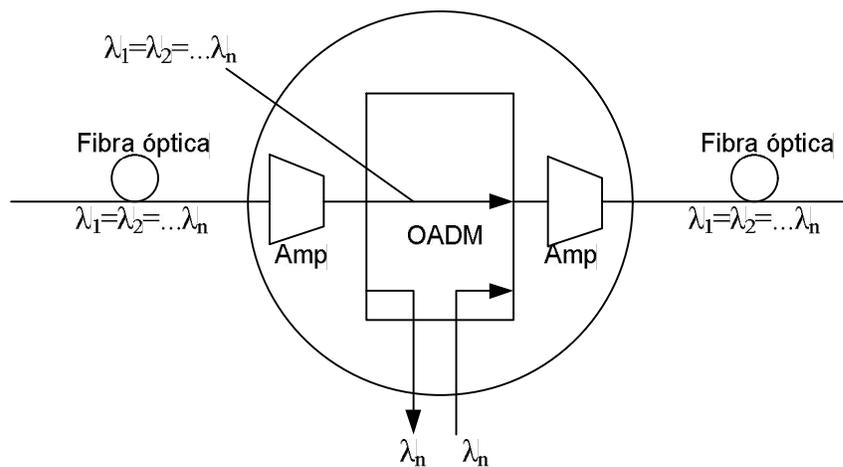


FIGURA # 14. Add and drop

Hay dos tipos generales de OADMs. La primera generación es un dispositivo que se configura físicamente para extraer una longitud de onda predeterminada mientras se añaden otras. La segunda generación es reconfigurable y capaz de seleccionar dinámicamente que longitud de onda se añaden y cuales se remueven. Los filtros de película delgada son la tecnología elegida para los OADMs en los sistemas CWDM metropolitanos actuales porque son menos caros y más estables. En cuanto a la segunda generación de OADMs, se prefieren otras tecnologías tales como las rejillas de fibra sintonizables y circuladores.

II.9.6 Fotodetectores

Su función es la de generar un flujo de datos eléctrico proporcional a la señal óptica recibida. Estos dispositivos deben ser muy sensibles a los rangos de longitudes de onda en las que ellos trabajan, ser de bajo ruido y poca sensibilidad al cambio de temperaturas, además de larga vida de operación.

Los fotodetectores generalmente usados, son los basados en semiconductores, llamados fotodiodos, siendo los más comunes el fotodetector PIN y el Avalanche Photo Detectors (APD), los dos son de pequeños tamaños, rápida respuesta y alta sensibilidad, con costos relativamente bajos.

II.9.6.1 Fotodiodo PIN

El fotodiodo PIN convierte energía luminosa a corriente eléctrica cuando iluminamos al dispositivo en su región activa. Los fotodiodos PIN son iluminados en la zona donde el material es intrínseco. Un semiconductor es intrínseco cuando se encuentra puro o neutro.

El diodo PIN es una extensión de una unión P-N, en la cual está dopado el material intrínseco, de allí proviene la I de las iniciales, de ésta forma se incrementa la anchura de la región de agotamiento de la unión P-N.

La región de agotamiento en la unión P-N, está formada por algunos electrones de tipo n que se mueven llenando los huecos del material tipo p, de modo tal que crean una región de carga n, sobre la condición de voltaje inverso.

Un alto voltaje inverso es aplicado al diodo PIN para que la región intrínseca esté completamente agotada. La FIGURA #15 representa la operación normal de un diodo PIN con un voltaje de reverso aplicado en la unión PIN. [7]

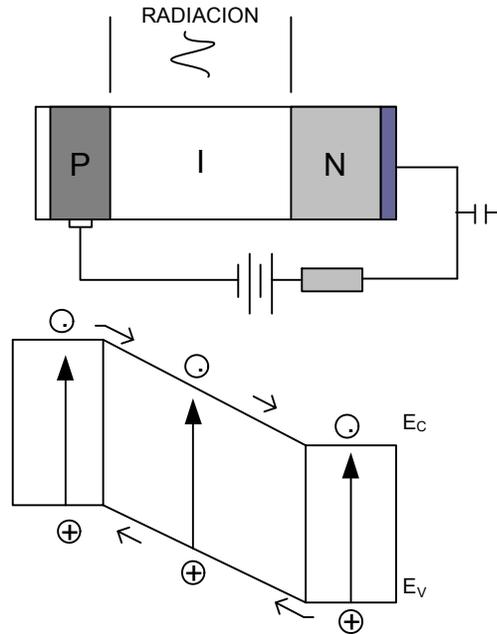


FIGURA # 15. Fotodiodo PIN

Cuándo la luz, incide sobre el material semiconductor, los electrones de la banda de valencia absorben los fotones, dando como resultado la excitación de los electrones, moviéndolos de la banda de valencia a la banda de conducción de esa manera la banda de valencia se llena de huecos.

El diseño de los fotodiodos PIN es optimizado para que los pares electrón hueco sean generados en su mayoría en la región de agotamiento. Luego de la aplicación de un voltaje que cruza la región de agotamiento, ellos forman huecos pares electrones e inducen una corriente, que se forma en un circuito externo.

Se utilizan fotodiodos PIN, debido a que son rápidos, tienen un tiempo de subida de 1^{-10} ns, una eficiencia cuántica buena, y ruido bajo.

II.9.6.2 Fotodiodo de Avalancha

Los fotodiodos de avalancha son una estructura de materiales semiconductores, ordenados en forma p-i-p-n. La luz entra al diodo y es absorbida por la capa n, haciendo que ciertos electrones pasen de la banda de valencia a la banda de conducción. Debido al gran campo eléctrico generado por la polarización inversa, los electrones adquieren velocidades muy altas y al chocar con otros electrones de otros átomos, hacen que éstos se ionicen. Los átomos ionizados ionizan a su vez otros átomos, desencadenando un efecto de avalancha de corriente fotoeléctrica.

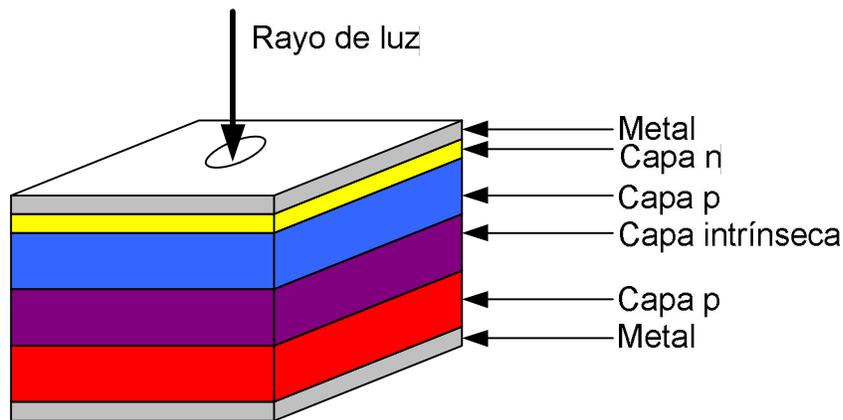


FIGURA # 16. Fotodiodo de Avalancha

Los fotodiodos APD son 10 veces más sensibles que los diodos PIN y requieren de menos amplificación adicional. Su desventaja radica en que los tiempos de transición son muy largos y su vida útil es muy corta.

II.10 SDH

La Jerarquía digital síncrona (SDH) (Synchronous Digital Hierarchy) se desarrolló en EEUUAA bajo el nombre de SONET y posteriormente UIT en el año de 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH. Debido a que SDH debía convivir con la jerarquía digital plesiócrona (PDH), la UIT normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas PDH en las nuevas tramas SDH.

La trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps. Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez se ha encapsulado se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1.

Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de Byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16 y STM-64.

II.10.1 Transporte tributarios SDH con CWDM

Es posible transportar señales SDH a través de CWDM. Los fabricantes ofrecen equipos que toman cualquier tributario SDH, y lo traslada en el espectro óptico a la posición correspondiente en la canalización CWDM, para su posterior multiplexación y transmisión. Este proceso se realiza de forma transparente para la capa SDH, por lo tanto, los canales de comunicación de datos (DCC) usados por las funciones de operación de los equipos SDH, que entre otras cosas generan alarmas, envían datos de administración, información de control de la señal y mensajes de mantenimiento, continúan realizando estas funciones.

II.11 GIGABIT ETHERNET

Gigabit Ethernet, también conocida como GbE, es una ampliación del estándar Ethernet definido por el IEEE, concretamente las versiones 802.3ab y 802.3z, que consigue una capacidad de transmisión de 1 gigabit por segundo.

Funciona sobre cables de cobre, par trenzado, del tipo UTP y categoría 5 (802.3ab), y sobre fibra óptica (802.3z). Esta ampliación es idéntica al Ethernet tradicional desde la capa de enlace de datos hasta los niveles superiores, mientras que el resto del estándar es tomado del ANSI X3T11 Fiber Channel, lo que otorga al sistema compatibilidad hacia atrás con Ethernet y el aprovechamiento de las posibilidades de la fibra óptica.

II.11.1 Transporte GbE con CWDM

En el mercado existen equipos CWDM que transportan de forma transparente señales GigaBit Ethernet, entre los cuales se encuentran CISCO, PadTec, Ciena y W-Onesys, entre otros.

II.12 REDES METROPOLITANAS

Estas redes se distinguen, como es aceptado comúnmente en la literatura, porque su longitud raramente excede los 75 km y su topología es en general tipo anillo. Sus objetivos principales son el enrutamiento, la agregación y el transporte, donde el enrutamiento tiene una prioridad levemente más baja que la agregación.

En general consisten de pocos canales WDM, típicamente entre 8 y 16 canales, que pueden ser tanto CWDM como DWDM, proveídos de protección redundante de canales en otra fibra que atraviesa una trayectoria diferente.

En el diseño de dichas redes es posible no considerar algunas de las pérdidas ópticas debido fundamentalmente a dos razones.

Primero, la red no tendrá una extensión de más de 75 km, por lo tanto parámetros como la dispersión y la atenuación son despreciables.[8]

Segundo las velocidades de línea son bajas. En un sistema de 16 canales WDM, la mayoría de las longitudes de onda están en la velocidad OC-3 (155,52 Mbps), unas pocas basadas en OC-12 (622 Mbps) y OC-48 (2,5 Gbps) y casi ninguna se encuentra a velocidades de OC-192 (10Gbps).

Un gran porcentaje de tráfico emerge y culmina dentro del anillo, y otro porcentaje menor es destinado hacia el núcleo de la red o hacia la de larga distancia, éste tráfico entre redes es la que define la topología que será usada en la red.

Los canales ópticos pueden ser multiplexados o conmutados en la capa electrónica o en la óptica, pero esta última opción aún se encuentra en desarrollo lo que hace más viable el uso de la conversión OEO y su posterior regeneración.

La filosofía para el éxito de dichos diseños esta constituido en nodos, que añaden y extraen pequeñas fracciones de longitudes de onda, en los cuales no es

necesaria la demultiplexación completa de la señal. Sin embargo, puede que haya nodos donde es necesaria la adición y la extracción de la mayoría del tráfico, por lo tanto es necesario colocar allí, equipos convencionales de demultiplexación.

La ventaja de colocar un diseño híbrido, no es sólo el bajo costo sino un más eficiente diseño, esto atribuido a las pérdidas asociadas con las secciones de demultiplexación AWG, que deben ser colocados en serie, obteniendo así altas pérdidas, además surten efectos perjudiciales considerables en la forma de la polarización de la señal. En resumen, se debe evitar secciones repletas de AWG, aunque a veces es imprescindible usarlas. [9]

II.13 TOPOLOGÍAS

Topología se refiere a la disposición y conexión física de los nodos de una red. Existen diversas topologías en las redes CWDM, de las cuales mencionaremos dos: punto a punto y anillo.

II.13.1 Punto a punto

Se refiere a la conexión de sólo un par de nodos, entre los cuáles se desea transmitir de forma unidireccional o bidireccional.

Con CWDM la conexión bidireccional entre ambos nodos se puede realizar bien sea con dos (2) o una (1) fibra. Para el caso de dos fibras, una de ellas sería utilizada para la transmisión desde el nodo A hacia el nodo B y la otra desde el nodo B hacia el nodo A. En el caso de utilizar una sola fibra, es necesaria la utilización de dos longitudes de onda, una para la transmisión y otra para la recepción, además de utilizar equipos CWDM que soporten citada transmisión.

Cabe destacar, que en ninguno de los dos casos, se está contando con sistemas de protección de fibra redundante.

En la FIGURA #17 se muestra un ejemplo para cada una de las opciones. En la (a) se realiza la transmisión y recepción simultánea de 8 flujos de señal, uno por cada longitud de onda, en cambio, en el ejemplo (b) sólo se pueden transmitir 4 flujos de señal para las mismas 8 longitudes de onda debido a que sólo se está utilizando

una fibra, obligando a compartir las longitudes de onda entre la transmisión y recepción.

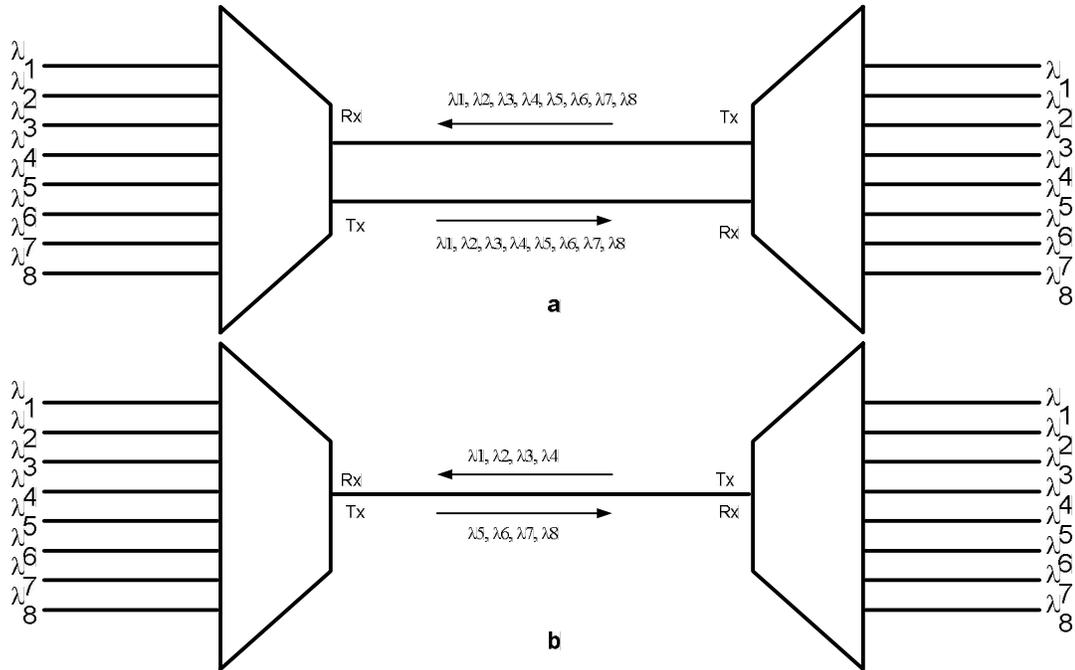


FIGURA # 17. (a) Punto a Punto con 2 fibras. (b) Punto a Punto con 1 fibra

II.13.2 Anillo

El anillo más simple es el que utiliza una sola fibra y una sola longitud de onda para realizar la transmisión de un nodo central a un nodo remoto y viceversa, aún cuando toda la transmisión en anillo se realiza en la misma dirección. Este tipo de anillos se conocen con el nombre de anillo unidireccional.

En un anillo unidireccional, cada nodo tendrá que extraer el canal correspondiente del anillo e insertar el mismo canal en el anillo para realizar la transmisión bidireccional hacia el nodo central.

En la FIGURA #18 se muestra un anillo unidireccional CWDM, allí se observa que en cada nodo posee un OADM cuya función es extraer e insertar el canal correspondiente.

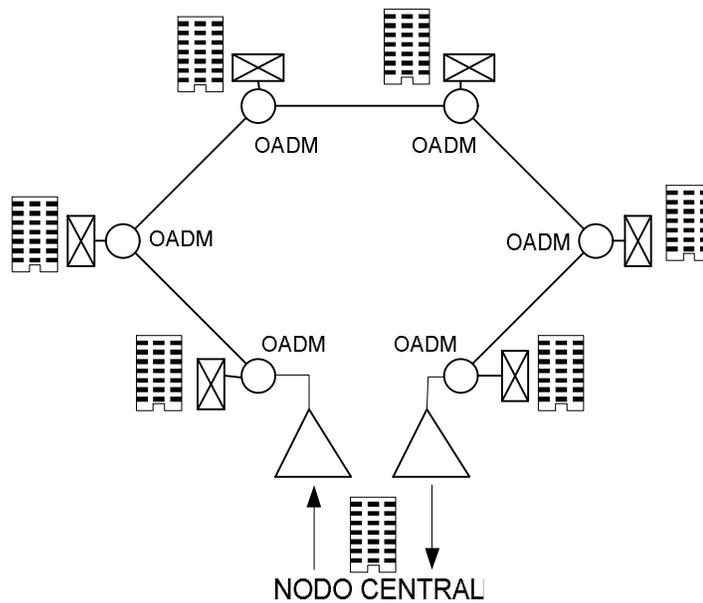


FIGURA # 18. Ejemplo anillo CWDM.

II.14 GESTIÓN

La gestión consiste en monitorizar y controlar los recursos de una red con el fin de evitar que esta llegue a funcionar incorrectamente degradando así sus prestaciones. Los elementos que conforman un sistema de gestión de red son:

Gestor: se refiere a la estación de gestión, generalmente un servidor o una PC actuando como tal.

Agente: son los sistemas gestionados, en éstos se encuentra software que responde a solicitudes de información del gestor y que además proporciona información de vital importancia.

Objetos: Variable que representa el aspecto de un agente.

Los sistemas de gestión CWDM suelen estar basados en la arquitectura de niveles de la norma TMN (Telecommunications Management Network) de la UIT-T y emplean la familia de protocolos OSI para la comunicación con los elementos de red. La plataforma de gestión suele basarse en sistemas Unix, tanto por la alta carga que suponen los protocolos OSI como por la alta disponibilidad y fiabilidad que necesita el gestor de una red que soportan tan altos anchos de banda

Los sistemas CWDM pueden tener su propio canal de gestión en el nivel óptico, bien sea fuera de la banda, utilizando una longitud de onda adicional como canal de supervisión óptica, o dentro de la banda utilizando para ello una pequeña cantidad de ancho de banda, por ejemplo 8 kHz, los cuáles se pueden reservar para la gestión por canal.

La FIGURA #19 se muestra un esquema simplificado del sistema de gestión de una red CWDM.

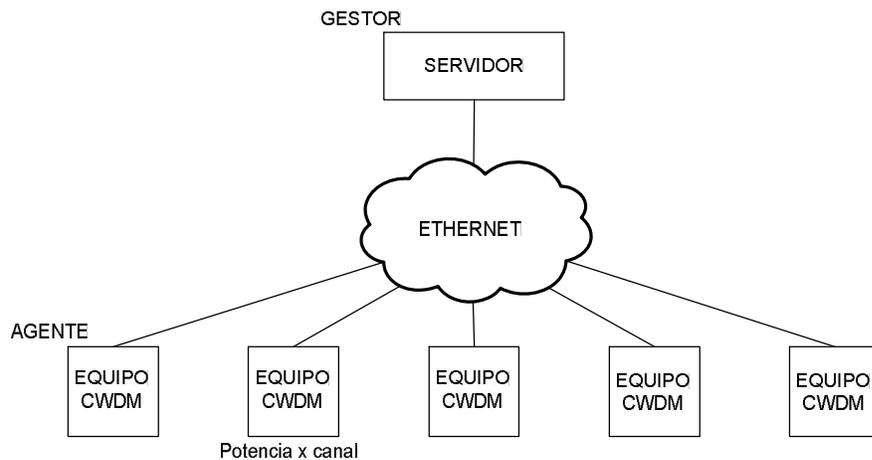


FIGURA # 19. Elementos que forman un sistema gestor de red.

II.15 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN

Con la incorporación de los sistemas CWDM en las redes, se crea una nueva capa completamente óptica, en la cual se han incorporado esquemas de protección similares a los existentes en los sistemas SDH.

De forma general, existen dos tipos de de protección. La primera llamada OMS (Optical Mux Section), se encarga de todos los canales transportados en el enlace entre un par de multiplexores, sin tratar a los canales de forma individual. La segunda, conocida como OCh (Optical Chanel), restaura el enlace a nivel de canal óptico, lo que implica la demultiplexación para acceder al canal óptico.

Cada una de las formas de protección, OMS y OCh, se implementan de diferentes formas dependiendo de la topología de la red, TABLA #2 y TABLA #3, y de las necesidades de cada proyecto en particular.

TABLA # 2. Protección OMS según la topología.

PROTECCIÓN OMS	1+1	1:1	OMS – DPRing	OMS – SPRing
TIPO	Dedicada	Compartida	Dedicada	Compartida
TOPOLOGÍA	Punto a punto	Punto a punto	Anillo	Anillo

TABLA # 3. Protección OCh según la topología.

PROTECCION OCh	1+1	OCh – SPRing	OCh – Mesh
TIPO	Dedicada	Compartida	Compartida
TOPOLOGIA	Malla	Anillo	Malla

En la FIGURA #20, se muestra el funcionamiento de la protección OMS de tipo 1+1, en la cuál se transmite una señal idéntica a la de la fibra principal por la fibra de protección, señales que al arribar al conmutador, éste selecciona la de mejor calidad.

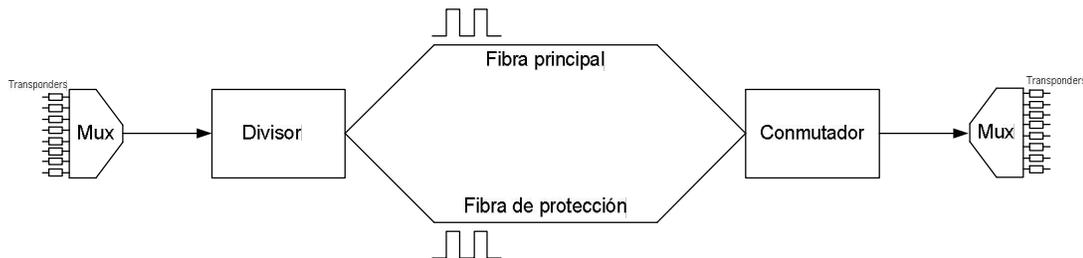


FIGURA # 20. Protección OMS 1+1

En la FIGURA #21 se muestra el funcionamiento de la protección OMS 1+1 en la topología anillo. Se observa un anillo con cuatro OADM en el que ocurre un corte de uno de los enlaces, cuando los OADM 3 y 4 detectan la pérdida de la señal conmutan ambos al enlace de reserva, sin cambiar la dirección del anillo, y además sin que los demás OADM tengan que realizar ninguna modificación en sus configuraciones, éste tipo de conmutación de la señal se conoce como span switching.

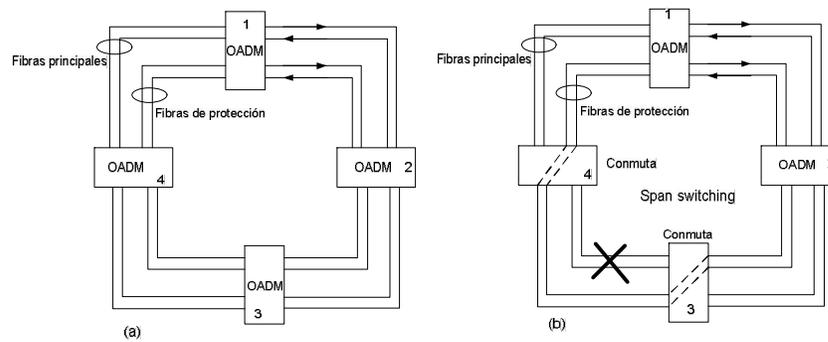


FIGURA # 21. Protección OMS – DPRing

II.16 RENDIMIENTO Y FIABILIDAD

Los sistemas CWDM incrementan el rendimiento de la red de transporte, ya que no hay necesidad de conversiones óptico – eléctrico – óptico en las secciones de amplificación, debido a la existencia de amplificadores completamente ópticos. Al no existir tal conversión la red de transporte no está restringida a la velocidad de la electrónica disponible.

En cuanto a la fiabilidad, algunos componentes, tales como los OADM son pasivos y por lo tanto continúan funcionando si no hay alimentación, además éstos tienen típicamente un MTBF muy alto.

Los esquemas de protección implementados en equipos CWDM y en los diseños de la red son al menos tan robustos como los construidos con SDH.

Todos estos factores contribuyen a una mayor rentabilidad y un menor mantenimiento de la red óptica.

II.17 ESCALABILIDAD

Los sistemas CWDM son escalables de dos formas, la primera se refiere a la posibilidad de ir incrementando paulatinamente la cantidad de canales CWDM hasta llegar a un máximo de 18 dependiendo de las especificaciones de la fibra utilizada. La segunda forma implica utilizar tecnología DWDM junto con la CWDM ya instalada, colocando varios canales DWDM dentro de un canal CWDM. En la FIGURA #22 se muestra el espectro utilizado por un sistema CWDM, en el cual se utilizará el canal

con una longitud de onda de 1550 nm para introducir al menos 8 canales DWDM, formando de esta manera un sistema híbrido CWDM y DWDM.

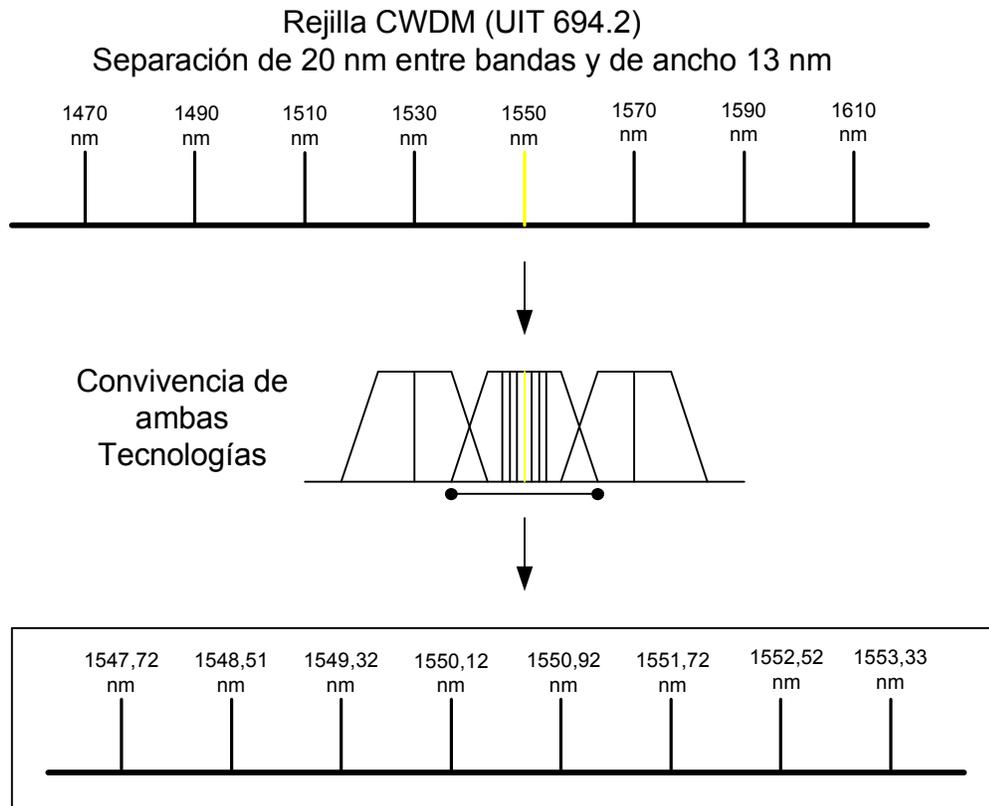


FIGURA # 22. Convivencia CWDM con DWDM.

II.18 ENERGÍA

La energía utilizada por los equipos CWDM es mucho menor que la requerida por otros sistemas similares, aunque de mayor capacidad, como DWDM. Un transmisor láser CWDM consume aproximadamente 0,5 W, por lo tanto transmitir 8 canales necesita aproximadamente de 4 W, a ello se le suma lo requerido por los sistemas de monitoreo y control que depende de cada uno de los fabricantes.

En cuanto a la forma de proveer la energía a los equipos, los fabricantes ofrecen diferentes formas, bien sea a través de voltaje continuo, o a través de líneas

de 110 V, además algunos ofrecen la posibilidad de proveer a los sistemas CWDM de fuentes redundantes.

II.19 FUNDAMENTOS DE LA REFLECTOMETRÍA

A medida que la luz viaja a través de la fibra, ésta se ve afectada por un fenómeno conocido como **retrodispersión de Rayleigh**, el cuál es ocasionado por las pequeñas variaciones en el índice de refracción existentes en la fibra óptica. Este fenómeno ocurre continuamente a lo largo de toda la fibra, haciendo que parte de la luz que es dispersada se regrese al origen (fuente de luz).

El OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es un equipo capaz de medir ésta retrodispersión, además de la luz reflejada por eventos adicionales en la fibra, como empalmes y conectores. Dichas mediciones las representa por medio de una gráfica de la potencia reflejada a lo largo de la fibra que se está comprobando. Para ello envía pulsos de ancho y potencia definidas, por un período de tiempo según la longitud de la fibra, y luego mide la luz reflejada.

Los resultados de las comprobaciones del OTDR se utilizan para certificar el rendimiento de los enlaces de fibra recién instalados, o para solucionar problemas con enlaces de fibra ya existentes.

Entre las especificaciones más importantes que poseen los OTDR se encuentran, la zona muerta para eventos, que indica la longitud más corta de fibra que puede detectar y el rango dinámico que indica la diferencia entre la sensibilidad del equipo y la potencia máxima que puede detectar. La relación entre el rango dinámico y la zona muerta es directamente proporcional, esto significa que si se necesita comprobar una fibra más larga, será necesario aumentar la zona muerta, lo que se traduce en un pulso de comprobación mas ancho.

El rango de distancia mínimo de un OTDR, se define como:

$$\text{Rango de distancia (máx.)} = \frac{\text{Rango dinámico (máx)}}{\text{pérdidas de fibra por km (min)}}$$

ECUACIÓN # 1

A fin de traducir la anchura de pulso a distancia, se debe tener en cuenta que la propagación de la luz para la fibra para los OTDR es de 10 ns/m, lo que implica que una anchura de pulso de 40 ns tiene una zona muerta de 4 m. Así dada una anchura de pulso de 40 ns, se pueden realizar medidas precisas de pérdidas del conector unos cuatro (4) metros más allá del empalme por fusión.

La reflectancia tiene una influencia significativa en la zona muerta, por lo general, cuanto menor es la reflectancia, menor es la zona muerta. La mayoría de los fabricantes especifican una zona muerta para fibras monomodo de -55 dB y para fibras multimodo de -45 dB.

CAPITULO III

En éste capítulo presentamos la metodología utilizada para llegar al diseño propuesto, además de los procedimientos necesarios para la caracterización de la fibra óptica oscura, con el fin de verificar la compatibilidad de la planta instalada con la tecnología CWDM.

III.1 METODOLOGÍA

A continuación la metodología, dividida en cuatro fases:

III.1.1 Fase 1

Se estudiaron los fundamentos de la tecnología CWDM, haciendo énfasis en temas correspondientes a:

Aceptación de tributarios de la jerarquía SDH.

Medio de transmisión, características necesarias de la Fibra Óptica.

Marco para CWDM definido por la UIT.

Recomendaciones por la IEEE.

Además, se investigó sobre la topología actual del anillo SDH Caracas # 6 de la Corporación, para ello se recopiló información concerniente a la estructura tanto lógica como física del anillo, encontrada en informes, planos, manuales, intranet y reportes de empresas contratistas de la Corporación.

Por último, en ésta fase, se precisó el alcance y las limitaciones del proyecto.

III.1.2 Fase 2

Se recopiló información sobre los requerimientos que tendrá a mediano plazo el anillo en estudio, ya que se tiene previsto la incorporación de nuevas redes utilizando fibras del anillo. Estos nuevos proyectos corresponden, entre otros, a la instalación de servicios Triple Play.

III.1.3 Fase 3

De acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante de los equipos seleccionados además de las recomendaciones emanadas por organismos internacionales sobre el tema, se definieron las características necesarias de la red de fibra óptica para instalar el anillo CWDM.

Se realizaron visitas a las instalaciones, donde se encuentran los nodos, para realizar los levantamientos necesarios correspondientes a la ubicación de los terminales de fibras oscuras para su acceso.

Luego se caracterizó la red de Fibra Óptica mediante pruebas de reflectometría y potencia realizadas a fibras oscuras de nodos seleccionados del anillo SDH instalado. La selección de los mismos se realizó según la vigencia y extensión de las pruebas hechas como parte del trabajo de mantenimiento por el departamento de Fibra Óptica de la Corporación.

III.1.4 Fase 4

Se describió la interconexión de los equipos CWDM y de los mismos con los SDH, para cada uno de los nodos del anillo.

III.1.5 Fase 5

Redacción de las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros, tanto para la continuación del proyecto como para la utilización de los resultados como parte de otros estudios.

III.2 PRUEBAS DE REFLECTOMETRÍA Y POTENCIA.

El objetivo de las pruebas de reflectometría y potencia es la determinación de las condiciones de transmisión del cable y de todos los elementos que en conjunto constituyen un enlace determinado o un segmento de él en particular, verificando parámetros tales como las pérdidas de la fibra óptica, de cada empalme y por último las pérdidas en los conectores.

Es importante la realización de la prueba o medición de reflectometría en cables instalados, ya que permite evaluar las reflexiones debidas a elementos adicionales al cable, tales como conectores, empalmes mecánicos y probables fisuras en la fibra versus las reflexiones debidas a factores intrínsecos.

La importancia de las pruebas de potencia radica en que permiten evaluar la pérdida que posee un enlace en su conjunto.

Para la realización de tales pruebas resulta imprescindible un generador óptico y un medidor de potencia óptica, además un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).

III.2.1 Procedimiento prueba de reflectometría

Equipo necesario:

Un OTDR.

Puntas adecuadas que sirvan de interfaz entre el conector correspondiente al cable de fibra, que se va a estudiar, y el OTDR.

En primera instancia se ubica el equipo de medición, en este caso OTDR, en un extremo de la fibra, ubicado en el ODF dentro de la sala respectiva.

Luego, se debe configurar el reflectómetro con los parámetros correctos y ejecutar la prueba. El análisis de los resultados se realizó por medio de software para dicho fin, además de la experticia del personal Técnico de la Corporación.

III.2.2 Procedimiento prueba de potencia

Equipo utilizado:

Un generador óptico y un medidor de potencia óptico.

Puntas adecuadas que sirvan de interfaz entre el conector correspondiente al cable de fibra, que se va a estudiar, y respectivos equipos mencionados anteriormente.

Primero se calibra el equipo medidor, conectándolo con la fuente directamente mediante dos fibras para tal fin (Patch Cord), luego se coloca cada uno

de los equipos en cada uno de los extremos de la fibra en dónde se realizará la prueba, como se muestra en la FIGURA #23.



FIGURA # 23. Prueba de potencia.

Tanto la fuente (transmisor) como el receptor se configuraron para que emitiesen y detectaran longitudes de onda alrededor de los 1550 nm.

Realizando la resta entre la potencia de transmisión y la potencia recibida se obtienen las pérdidas del enlace.

Es importante destacar que el OTDR no se debe usar para medir las pérdidas totales del cable, ya que no mostrará la pérdida real que los equipos verán. [10]

III.2.3 Análisis de la traza entregada por el OTDR

Luego de realizada la medición con un OTDR éste muestra una traza para su análisis matemático por parte de un software y posterior análisis del operador, el cual debe tener un conocimiento previo de las posibles condiciones de la fibra, para poder realizar un análisis adecuado.

En la traza entregada, una pérdida se representa como una caída vertical repentina por debajo del nivel de retrodispersión, la medida se lee sobre la pantalla según la escala de medición que se haya elegido. Entre los eventos que producen pérdidas se encuentran los empalmes por fusión y las curvaturas o dobleces en la fibra.

Existen otros eventos, como los empalmes mecánicos y los conectores, que además de producir pérdida producen reflexiones. La magnitud de la reflexión se observa por encima del nivel de retrodispersión.

Por último, entre los eventos que analizaremos en éste trabajo, se encuentra el fin de fibra, que se representa por un pico, hacia arriba, repentino del nivel de retrodispersión, y una posterior oscilación del mismo.

CAPITULO IV

En el presente capítulo definimos el estado actual de la red de Fibra Óptica, soporte del anillo de transmisión en estudio y de servicios adicionales, caracterizándola por medio de pruebas de reflectometría y potencia y verificando que es apta para la transmisión mediante CWDM, además de obtener valores reales sobre la atenuación y longitud de la fibra con la finalidad de asegurar que la pérdida total no exceda lo previsto para el enlace.

Aparte de esto, desde el punto de vista lógico, se realizó un inventario de los servicios que cursa la red en estudio, para luego, junto con la caracterización descrita anteriormente, diseñar una red que transporte la mayor cantidad de esos servicios por medio de CWDM, lo que conduce a liberar fibras ópticas para su uso presente o futuro.

Luego se elaboró una encuesta para la selección de los equipos que se utilizaron en el diseño.

Por último describimos la interconexión de los equipos, sin entrar en los pormenores concernientes a un proyecto de Ingeniería de Detalle, sino más bien como guía para la realización de dicho proyecto.

IV.1 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

Está conformada por fibra óptica del tipo monomodo estándar; según la recomendación G.652, que enlazan las siguientes nueve (9) centrales de la Corporación CANTV: Caracas, Centro Nacional de Telecomunicaciones, Chaguaramos, Nueva Granada, Prados de María, Caricuao, Fajardo, San Martín y Maderero, como se muestra en la FIGURA #24.

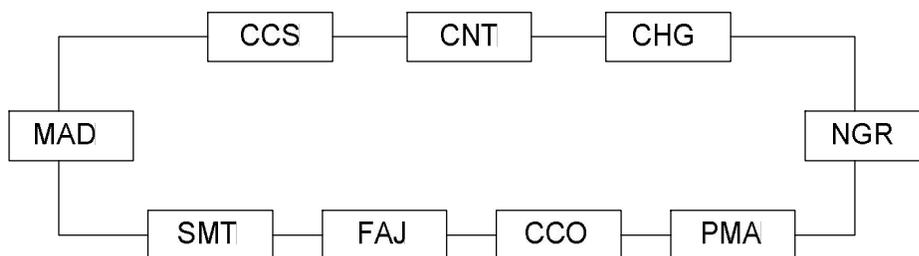


FIGURA # 24. Anillo de F.O. Caracas #6

En la TABLA #4 se describe la cantidad de fibras que poseen los cables que enlazan a las diferentes centrales y la ubicación de los ODF en los cuales se tiene acceso a cada uno de ellos.

TABLA # 4. ODF donde se realizaron las pruebas

TRAMO	CABLE/ Nº FIBRAS	UBICACIÓN ODF
CCO – FAJ	1 / 12	SALA PCM / TELETTRA / 1 / POS 1 – 12
FAJ – SMT	1 / 18	SALA PCM / TELETTRA / 2 / POS 1 – 18
SMT – MAD	1 / 18	SALA PCM / AT & T / 1 / POS 1 – 18
MAD – CCS	1 / 24	SALA PCM / TELETTRA / 1 / POS 1 – 24
CCS – CNT	1 / 18	SALA PCM / RAYCHEN / 2 / POS 1- 18
CNT – CHG	1 / 18	SALA PCM / ERICSSON / 2 / POS 1 – 18
CHG – NGR	1 / 18+1	SALA PCM / AT&T / 2 / POS 1 – 19
NGR – PMA	1 / 12+1	SALA PCM / TELETTRA / 1 / POS 1 – 13
PMA – CCO	1 / 48	SALA PCM / AT & T / 2 / POS 1 – 48

Nota:

Al realizar el levantamiento de la información, sobre la cantidad de cables y fibras existentes entra cada uno de los enlaces, se observó que los enlaces PMA-CCO y CCO-FAJ, comparten varios kilómetros de canalización, lo cuál incrementa los riesgos de que ocurran fallos en ambos enlaces al mismo tiempo, dejando aislado el nodo CCO. Esto, a pesar de estar al margen del desarrollo del proyecto, es importante ya que se pretende incrementar la capacidad de dichos enlaces, por lo tanto las pérdidas también serían mayores.

Para una descripción más detallada de la red, desde el punto de vista de la capa física, se realizaron mediciones tanto de la longitud de cada uno de los enlaces

como de la atenuación que presentan. Esto fue necesario ya que la fibra óptica, ha sido reparada por parte del personal técnico en varias ocasiones, debido a daños ocurridos a la misma, los cuales afectan parámetros de transmisión como la atenuación. De allí la importancia de la caracterización de la red de fibra óptica mediante pruebas de reflectometría y potencia, para obtener datos reales sobre los cuales se puede fundamentar el diseño.

Por otra parte, sería posible el diseño sin la previa realización de las pruebas, tan solo basándose en las características de atenuación dadas por el fabricante y en las normas de calidad empleadas en la Corporación para decidir que un empalme es aceptable. Aún así, se optó por la caracterización ya que era un procedimiento factible y además arrojaría resultados sobre el estado real de la planta instalada.

IV.1.1 Pruebas de potencia

Se realizaron las pruebas de potencia sobre las fibras disponibles de los cables que interconectan a las centrales del anillo de acuerdo a lo descrito en el CAPITULO 3 – Procedimiento prueba potencia. Los resultados se muestran en la TABLA #5.

TABLA # 5. Pruebas de potencia

TRAMO	F.O. [Tx/Rx]		At [dB]		TRAMO	F.O. [Rx/Tx]	
CC0 – FAJ	7	9	4,69	4,69	FAJ – CCO	7	9
FAJ – SMT	9	10	1,79	1,78	SMT – FAJ	9	10
	15	16	1,78	1,78		15	16
	17	18	1,78	1,79			
SMT – MAD	9	10	1,98	1,96	MAD – SMT	9	10
	11	12	1,96	1,98		11	12
	13	14	1,93	1,97		13	14
	15	16	1,96	1,98		15	16
	17	18	1,97	1,98		17	18
	19	20	1,96	1,98		19	20
	21	22	1,98	2,01		21	22
23	24	1,98	1,98	23	24		

TABLA # 5. Pruebas de potencia (continuación)

TRAMO	F.O. [Tx/Rx]		At [dB]		TRAMO	F.O. [Rx/Tx]	
MAD – CCS	21	22	1,68	1,68	CCS – MAD	21	22
	23	24	1,68	1,68		23	24
CCS – CNT	4	5	1,65	1,67	CNT – CCS	4	5
	9	18	1,67	1,68		9	18
CNT – CHG	1	2	2,74	2,78	CHG – CNT	1	2
	7	8	2,73	2,77		7	8
	9	10	2,77	2,76		9	10
	11	12	2,73	2,78		11	12
	13	14	2,73	2,78		13	14
	19	20	2,73	2,78		19	20
CHG – NGR	17	18	2,94	2,93	NGR – CHG	7	18
NGR – PMA	1	12	2,07	2,06	PMA – NGR	1	12
PMA – CCO	3	6	4,39	4,41	CCO - PMA	3	6
	7	8	4,4	4,39		7	8
	9	10	4,42	4,42		9	10
	11	12	4,42	4,46		11	12
	13	14	4,42	4,44		13	14
	15	16	4,42	4,42		15	16
	17	18	4,43	4,42		17	18
	19	20	4,42	4,41		19	20
	21	22	4,42	4,4		21	22
	23	24	4,44	4,45		23	24
	25	26	4,42	4,42		25	26
	27	28	4,42	4,42		27	28
	29	30	4,44	4,42		29	30
	31	32	4,44	4,42		31	32
	33	34	4,42	4,5		33	34
	35	36	4,43	4,49		35	36
	37	38	4,42	4,48		37	38
	39	40	4,43	4,49		39	40
41	42	4,43	4,49	41	42		
43	44	4,42	4,5	43	44		
45	46	4,41	4,51	45	46		

	47	48	4,41	4,51		47	48
--	----	----	------	------	--	----	----

IV.1.2 Pruebas de reflectometría

Las pruebas de reflectometría fueron realizadas utilizando el procedimiento descrito en el CAPITULO 3 – Procedimiento prueba reflectometría, arrojando resultados prácticamente iguales la mayor parte de ellas, por lo cuál, sólo se mostrarán aquellas que por su carácter diferenciador aporten elementos para el análisis.

Por razones operativas se utilizaron dos OTDR de fabricantes diferentes, ACTERNA y ANRITSU, lo cuál propició que los resultados fuesen mostrados en formatos disímiles, ya que generan archivos con extensión y formato *wtk* y *sor* respectivamente. Para la visualización y el análisis de las trazas contenidas en los archivos *wtk* fue utilizado el software Fiber Trace de ACTERNA (JDSU en el 2006) ofrecido gratuitamente en su página web [11], y para los *sor* el NetTest [12] el cuál es recomendado por el fabricante.

En el ANEXO °2, se muestran las reflectometrías con su respectivo análisis automatizado, que consiste en la identificación de eventos, empalmes y conectores, ocurridos en cada una de las fibras, además se clasifican por tramos.

IV.1.3 Análisis de los resultados

El análisis tuvo como objetivo seleccionar las fibras que poseen las mejores condiciones de transmisión en cuanto a pérdidas y a la cantidad y calidad de los empalmes, además verificar que cumplen con los requerimientos de las recomendaciones TIA/EIA 568-B.3.

A partir de las pruebas de reflectometría, que suministran datos como la cantidad de empalmes, conectores y longitud de la fibra, se realizaron cálculos utilizando la ECUACIÓN #2 que determinan la máxima atenuación esperada por enlace, para luego ser cotejada con la información suministrada por las pruebas de potencia.

$$\text{Att enlace} = \# \text{empalmes} * 0,3 + \# \text{pares de conectores} * 0,7 + \text{distancia} * 0,5$$

ECUACIÓN # 2

Las constantes de la referida ecuación, son las atenuaciones máximas permitidas por la recomendación TIA/EIA 568-B.3 para los empalmes, pares de conectores y fibra óptica monomodo estándar en la ventana de 1550 nm. Por ejemplo, para las mediciones realizadas con la fuente y el medidor de potencia se debe tomar en cuenta la existencia de al menos 6 conectores (3 pares), los cuáles son usados para conectar la fuente y el receptor a la fibra en prueba, como se muestra en la FIGURA #25.



FIGURA # 25. Prueba de potencia.

En la TABLA #6 se muestran los resultados de los cálculos y si comparamos éstos con las mediciones de potencia, TABLA #5, observamos que todas las fibras tienen pérdidas por debajo del nivel máximo para ser aceptadas, sino fuese así, sería necesario trabajos de acondicionamiento de la fibra, que incluyen la limpieza de los conectores y realizar de nuevo los empalmes que estén defectuosos.

TABLA # 6. Pérdidas máximas aceptables por enlace.

	Num. conectores	Num. empalmes	Distancia [km]	Pérdida conector [dB]	Pérdida empalme [dB]	Att cable [dB]	Att enlace [dB]
cco-faj	3	2	7,922	2,25	0,6	3,961	6,811
faj-smt	3	0	2,453	2,25	0	1,2265	3,4765
smt-mad	3	0	2,734	2,25	0	1,367	3,617
mad-ccs	3	0	2,398	2,25	0	1,199	3,449
ccs-cnt	3	0	2,454	2,25	0	1,227	3,477
cnt-chg	3	2	4,307	2,25	0,6	2,1535	5,0035
chg-ngr	3	0	1,82	2,25	0	0,91	3,16
ngr-pma	3	2	0,953	2,25	0,6	0,4765	3,3265
pdm-cco	3	0	15,61	2,25	0	7,805	10,055

Luego se realizó la selección de las fibras, TABLA #7, tomando como criterios la menor atenuación y el menor número de empalmes.

TABLA # 7. Fibras ópticas oscuras escogidas.

TRAMO	F.O. [Tx/Rx]		At [dB]		TRAMO	F.O. [Rx/Tx]	
CCO – FAJ	7	9	4,69	4,69	FAJ – CCO	7	9
FAJ – SMT	15	16	1,78	1,78	SMT – FAJ	15	16
SMT – MAD	13	14	1,93	1,97	MAD – SMT	13	14
MAD – CCS	21	22	1,68	1,68	CCS – MAD	21	22
CCS – CNT	4	5	1,65	1,67	CNT – CCS	4	5
CNT – CHG	7	8	2,73	2,77	CHG – CNT	7	8
CHG – NGR	17	18	2,94	2,94	NGR – CHG	17	18
NGR – PMA	1	12	2,07	2,06	PMA – NGR	1	12
PMA – CCO	7	8	4,4	4,39	CCO - PMA	7	8

IV.2 ESTUDIO DE TRÁFICO

El Anillo transporta un flujo STM-16, conformado por seis (6) nodos con equipos SDH ERICSSON AXD-2500. Estos nodos se encuentran en las centrales: Centro Nacional de Telecomunicaciones (CNT), Maderero (MAD), San Martín (SMT), Fajardo (FAJ), Caricuaó (CCO), Prado de María (PMA).

Además del Anillo Caracas #6, existe una red asociada que incluye aquellos servicios instalados entre cada una de las centrales que comprende el anillo y que pudiesen ser transportados mediante el sistema a diseñar, es decir, servicios como SDH o Gigabit Ethernet que se encuentran en cada una de las centrales.

La FIGURA #26 muestra un esquema general de la red asociada y del anillo en estudio. De este esquema se desprenden todos aquellos servicios actuales que podrán ser transportados por el anillo CWDM diseñado.

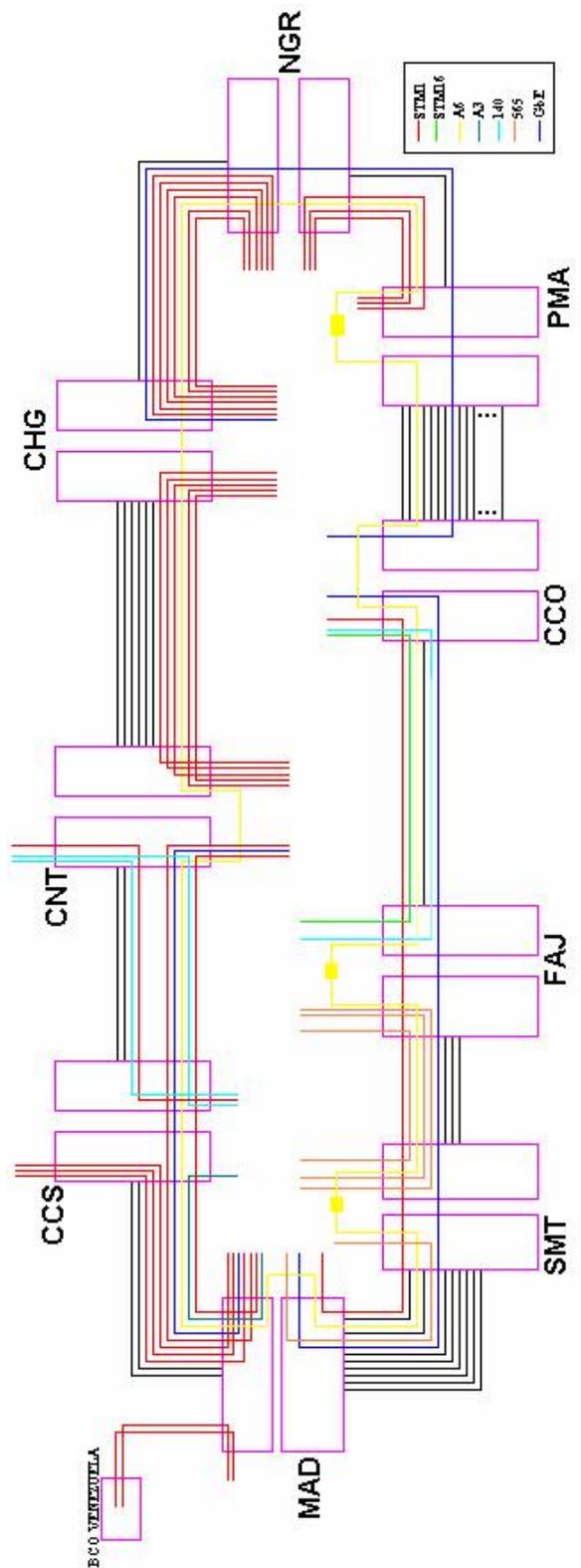


FIGURA # 26 Trafico cursante por el anillo urbano Caracas #6

IV.3 ESTUDIO DE TRÁFICO A MEDIANO PLAZO

Para determinar los requerimientos que la red pueda tener a mediano plazo, en dos años, nos basamos en algunos datos ofrecidos por la Corporación, en cuanto al desarrollo de nuevos proyectos que incluyen el uso de la fibra óptica en estudio.

La Corporación planea la incorporación, a mediano plazo, de equipos para dar soporte a la nueva generación de servicios Triple Play (voz, video y datos), además planea un aumento en la demanda de alquiler de su fibra oscura. Por lo tanto, según lineamientos de la Corporación, es prioritario asegurar fibras disponibles para los servicios Triple Play, además de liberar la mayor cantidad en el anillo.

En la TABLA #9, se muestra cuántas fibras oscuras existen por cada tramo y además el número de fibras requeridas para la instalación de los servicios Triple Play. Estos datos fueron extraídos de los documentos sobre ampliación de la red de transmisión Capital de la Corporación [13].

TABLA # 8. Fibras oscuras y fibras requeridas para nuevos servicios.

TRAMO	F.O. OSCURAS	F.O. REQUERIDAS
CCO – FAJ	2	0
FAJ – SMT	6	0
SMT – MAD	16	2
MAD – CCS	4	2
CCS – CNT	4	4
CNT – CHG	6	4
CHG – NGR	2	0
NGR – PMA	2	0
PMA – CCO	44	0

De la tabla se desprende que existe suficiente fibra óptica oscura, para la instalación de los nuevos servicios a mediano plazo. Por lo tanto, el diseño a realizar, estará guiado por el objetivo de liberar la mayor cantidad de fibras ópticas, para que estas puedan alquilarse o utilizarse para nuevos servicios.

IV.4 DETERMINACIÓN DE LOS EQUIPOS A INSTALAR

Para determinar los equipos a instalar, nos basamos en una matriz de cumplimiento, cuyo objetivo es evaluar y calificar algunas de las características de los equipos CWDM ofrecidos a la Corporación.

La matriz de cumplimiento consta de una encuesta que se diseñó tomando en cuenta los lineamientos de la Corporación; como la adquisición de equipos que cumplan con recomendaciones internacionales, además de características específicas del presente proyecto.

La encuesta fue aplicada a dos equipos de los fabricantes CIENA y CISCO, los cuáles son proveídos a través de ERICSSON y socios de negocios CISCO, respectivamente y respondida a partir de las especificaciones de cada uno de los productos, encontrados en las hojas de datos correspondientes.

A continuación la encuesta:

1. ¿Transporta 8 o más canales CWDM UIT-T G.694.2?
2. ¿Permite la incorporación gradual de canales CWDM UIT-T G.694.2?
3. ¿Permite la incorporación de canales DWDM?
4. ¿Cuántos canales DWDM puede transportar?
5. ¿Transporta tributarios STM-1 y STM-16, cumpliendo con las recomendaciones UIT-T G.957 Y G.707?
6. ¿Transporta GbE cumpliendo con la recomendación IEEE 802.3z?
7. ¿Permite la administración centralizada mediante la plataforma Standard OSS?
8. ¿Permite el monitoreo de los canales Ópticos?
9. ¿La plataforma de gestión maneja las siguientes funciones?

Configuración	Seguridad
Desempeño	Fallas
10. ¿Soporta la topología anillo como forma de conexión?

11. ¿El equipo es modular?
12. ¿Permite la inserción y extracción en caliente de los módulos?
13. ¿Admite módulos de energía redundantes?
14. ¿Admite protección de línea OSNCP?
15. ¿Posee la capacidad de realizar transmisiones en fibra monomodo standard a distancias de hasta 20 km?

La puntuación de cada una de las preguntas se ajustó según la importancia de la característica para el diseño, siendo 10 la mayor puntuación. Las preguntas con puntuación mayor a 5, se refieren a características críticas, de forma tal que si un equipo tuviese una evaluación de cero (0) en la pregunta, quedaría inmediatamente descartado para su utilización.

La TABLA #9 muestra la matriz de cumplimiento. Se observa que el equipo LightStack MXA es el que obtuvo la mayor calificación.

TABLA # 9. Matriz de cumplimiento.

N ° Pregunta	Tema	Puntuación	Light Stack MXA	CISCO CWDM
1	CWDM	10	10	10
2	CWDM	8	8	8
3	DWDM	5	0	0
4	DWDM	5	No aplica	No aplica
5	SDH	10	10	10
6	GbE	10	10	10
7	Gestión y Monitoreo	8	8	0
8	Gestión y Monitoreo	5	5	0o
9	Gestión y Monitoreo	6	5	0
10	Topologías	10	10	10
11	Equipos	4	4	4
12	Equipos	2	2	No aplica
13	Protección de equipos	4	Si	Si
14	Protección de línea	8	8	8
15	Fibra	10	10	10
CALIFICACIÓN			90	70

Además del resultado obtenido en la matriz de cumplimiento, se tomó en cuenta que en la Corporación existe un anillo CWDM instalado con los equipos CIENA LightStack MXA, que ha tenido resultados satisfactorios, por lo tanto, se utilizó en el diseño el equipo Light Stack MXA.

En cuanto a los equipos SDH, se utilizarán los mismos equipos ERICSSON AXD de los cuáles dispone la Corporación CANTV.

IV.5 DISEÑO

IV.5.1 Presupuesto de pérdidas

Entre los factores que delimitan el diseño de una red CWDM se encuentra la atenuación existente en los enlaces de fibra, y junto a este la sensibilidad y potencia máxima de transmisión de los equipos. El estudio de estos factores, en el diseño, se conoce como presupuesto de pérdidas.

El objetivo es determinar la pérdida máxima y la pérdida mínima que pueden tener los enlaces para asegurar que la detección de la señal no supera un BER de 10^{-12} . Además, si el enlace no posee la pérdida mínima se puede causar daños al sistema detector.

La pérdida máxima se calcula a partir de la ECUACIÓN #3, cuyas variables son características de los equipos LightStack MXA a instalar, las cuáles se encuentran en el anexo N°1.

$$P.P.[dB] = P_{Txmin}[dBm] - Sensibilidad[dBm]$$

ECUACIÓN # 3

Y la pérdida mínima:

$$P.mín.[dB] = P_{Txmáx}[dBm] - P_{Rxmáx}[dBm]$$

ECUACIÓN # 4

Los resultados se muestran en la TABLA #10

TABLA # 10. Presupuesto de pérdidas.

Tipo SFP	P_{Tx}		$P_{Rx} - PIN$		P.P.	P.mín.
	MIN [dBm]	MAX [dBm]	Sen. [dBm]	MAX [dBm]		
850	-9,5	-4	-17	-3	7,5	-1
1310	-9,5	-3	-20	-3	10,5	0
CWDM	0	5	-24	0	24	5

En donde:

P_{Tx} = Potencia de transmisión.

P_{Rx} = Potencia de recepción.

Sen. = Sensibilidad, equivale a la potencia mínima de recepción.

P.P.= Presupuesto de pérdidas.

P.mín.= Pérdidas mínimas admitidas.

En la TABLA #10 se muestra que la pérdida máxima que puede poseer cualquiera de los enlaces CWDM debe ser a lo sumo de 24 dB, valor limitante de la distancia de los enlaces y de la cantidad y calidad de los empalmes, además de la cantidad de dispositivos ópticos presentes, debido a las pérdidas por inserción que éstos poseen.

Otra de las variables a tomar en cuenta es que los enlaces entre equipos CWDM deben tener pérdidas de al menos 5 dB, ya que si los SFP reciben potencias mayores a las indicadas en la TABLA #10 pueden dañarse. Los valores -1 y 0 indican que se pueden interconectar dichos equipos sin necesidad de atenuación en el enlace.

IV.5.2 Topología

La literatura de la compañía CISCO [14] ofrece recomendaciones para la escogencia de la topología a usar, dependiendo de la cantidad de nodos y la distancia entre ellos, el número de longitudes de onda y el tipo de tráfico. Las recomendaciones se resumen en la TABLA #11.

TABLA # 11. Clasificación de las redes ópticas.

	Acceso Metro	Metro Core	Larga distancia
Topología	Anillo	Anillo/malla	Punto a Punto / anillo y malla
Flujo de tráfico	Concentrado	Distribuido / malla	Concentrado
Longitud [km]	40 – 75	100 – 300	300 – 2000
Lambdas soportadas	<=16	32 – 64	>= 64
Nodos en el anillo	6 – 8	8 – 16	5 – 12
Distancia entre nodos [km]	< 30	40 ~ 300	300 ó más

En nuestro caso, el flujo de tráfico es de tipo malla, la longitud es menor a 75 km, se utilizarán 8 longitudes de onda (lambdas), 9 nodos, y una distancia entre ellos máxima de aproximadamente 16 km. Por lo expuesto, la recomendación de CISCO según la TABLA #11 y a modo general es que se utilice una topología anillo.

Además las posibilidades de conexión entre cada uno de los nodos de la red a diseñar son limitadas por la cantidad de fibras disponibles en cada uno de los cables de interconexión existentes. En la FIGURA #27 se presenta un esquema de la red indicando el número de fibras disponibles por tramo.

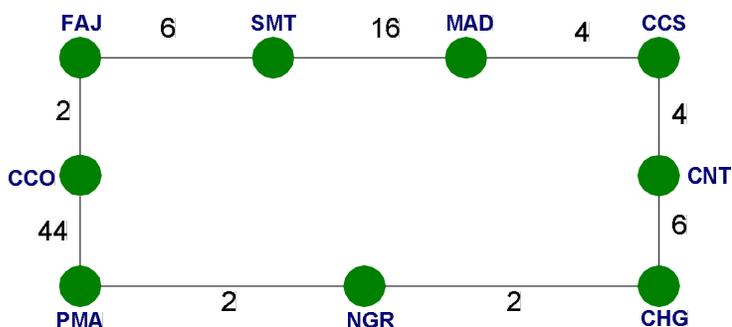


FIGURA # 27. Fibras disponibles entre cada una de las centrales.

Por ejemplo, entre CCO y FAJ solo hay disponible un par de fibras, al igual que entre PMA y NGR, lo que imposibilitaría que CCO fuese un nodo concentrador de tráfico en una red de topología estrella, ya que sólo pudiese conectarse a PMA, NGR y a FAJ y no pudiese concentrar el tráfico de los nodos restantes, ver FIGURA #28, además no tendría ninguna fibra de respaldo. Es importante aclarar, que la conexión entre CCO y NGR se realizaría por medio de la central PMA, por lo tanto se tendrían que utilizar dos fibras del cable CCO-PMA, adicionales a las dos fibras

utilizadas para la conexión entre CCO y PMA. Siguiendo esta lógica, no se pueden enlazar todos los nodos con un único concentrador del tráfico.

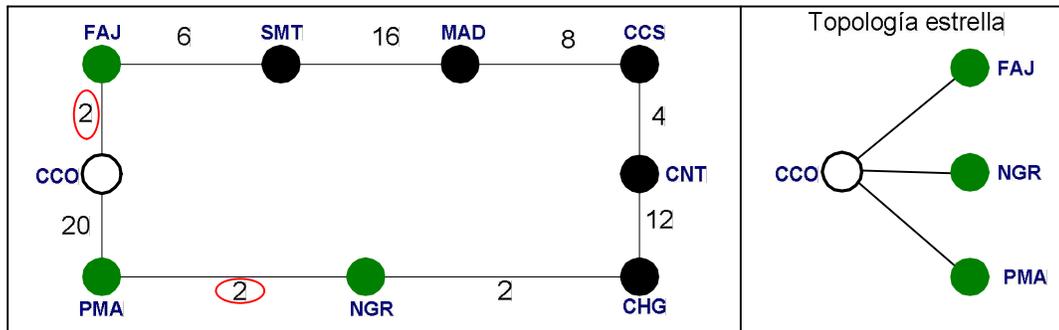


FIGURA # 28 Topología estrella

TABLA # 12. Posibles nodos a conectar según topología.

Nodo Concentrador	Nodos Hosts	Nº Nodos
CCO	PMA, NGR, FAJ	4
FAJ	CCO, SMT, MAD, CCS	5
SMT	FAJ, CCO, MAD, CCS, CNT	6
MAD	SMT, FAJ, CCO, CCS, CNT	6
CCS	CNT, CHG, MAD, SMT	5
CNT	CCS, MAD, CHG, NGR	5
CHG	CNT, CCS, NGR	4
NGR	CHG, PMA	3
PMA	CCO, NGR, FAJ	4

Como se observa en la TABLA #12, se pueden conectar hasta 6 nodos con la topología estrella utilizando las fibras disponibles, quedando como mínimo 3 nodos desconectados.

Por lo dicho anteriormente, se decidió por el diseño de un anillo, el cuál permite la conexión de los 9 nodos utilizando las fibras actualmente disponibles, sin la necesidad de un nodo concentrador de tráfico, y además con la ventaja en cuanto a la protección que ofrece la topología anillo.

IV.5.3 Asignación de longitudes de onda

Uno de los problemas enfrentados fue la asignación de las longitudes de onda de tal forma de utilizar la menor cantidad de equipos posible, tomando en cuenta que los LightStack MXA, vienen con módulos de 1, 2 o 4 canales consecutivos CWDM, comenzando con el canal 47, por ejemplo, no existe un MUX que trabaje con los canales 49 y 51, pero sí con los canales 47 y 49.

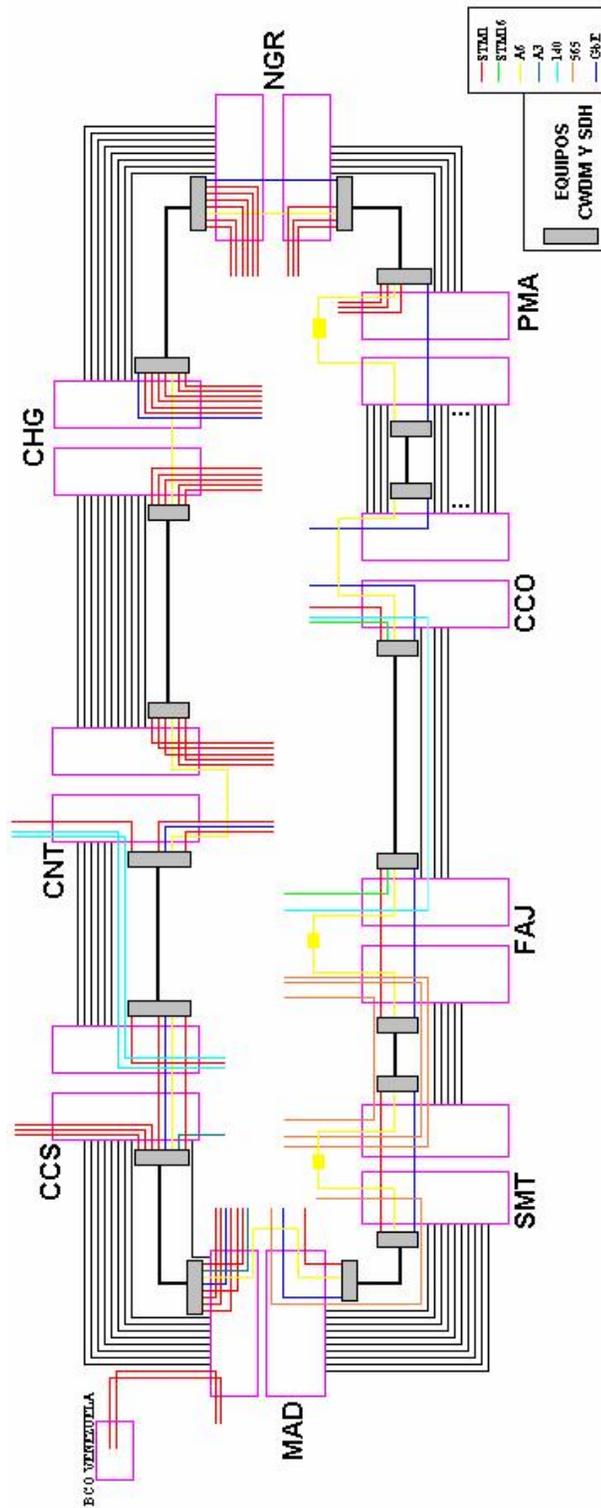
Si es necesario transportar los canales 49 y 51, es indispensable la utilización de dos LightStack MXA, uno provisto de un MUX de canal 49 y otro con un MUX de canal 51, es decir, dos equipos adicionales a si utilizáramos los canales 47 y 49.

No se utilizó ningún método sistemático documentado para la asignación de las longitudes de onda. Por ser un anillo pequeño, con sólo 8 longitudes de onda, se realizaron la mayor parte de las combinaciones, descartando las que son obviamente mayores, y se escogió la de menor cantidad de equipos necesarios.

Luego de la asignación de las longitudes de onda, se realizó un esquema que muestra el tráfico que cursará la red luego de que se instalen los equipos, ESQUEMA #1. Allí no se distingue entre los equipos CWDM y los equipos SDH que se pretenden instalar, se toman como un solo sistema en función de simplificar la visualización de los servicios que serán transportados por la nueva red CWDM.

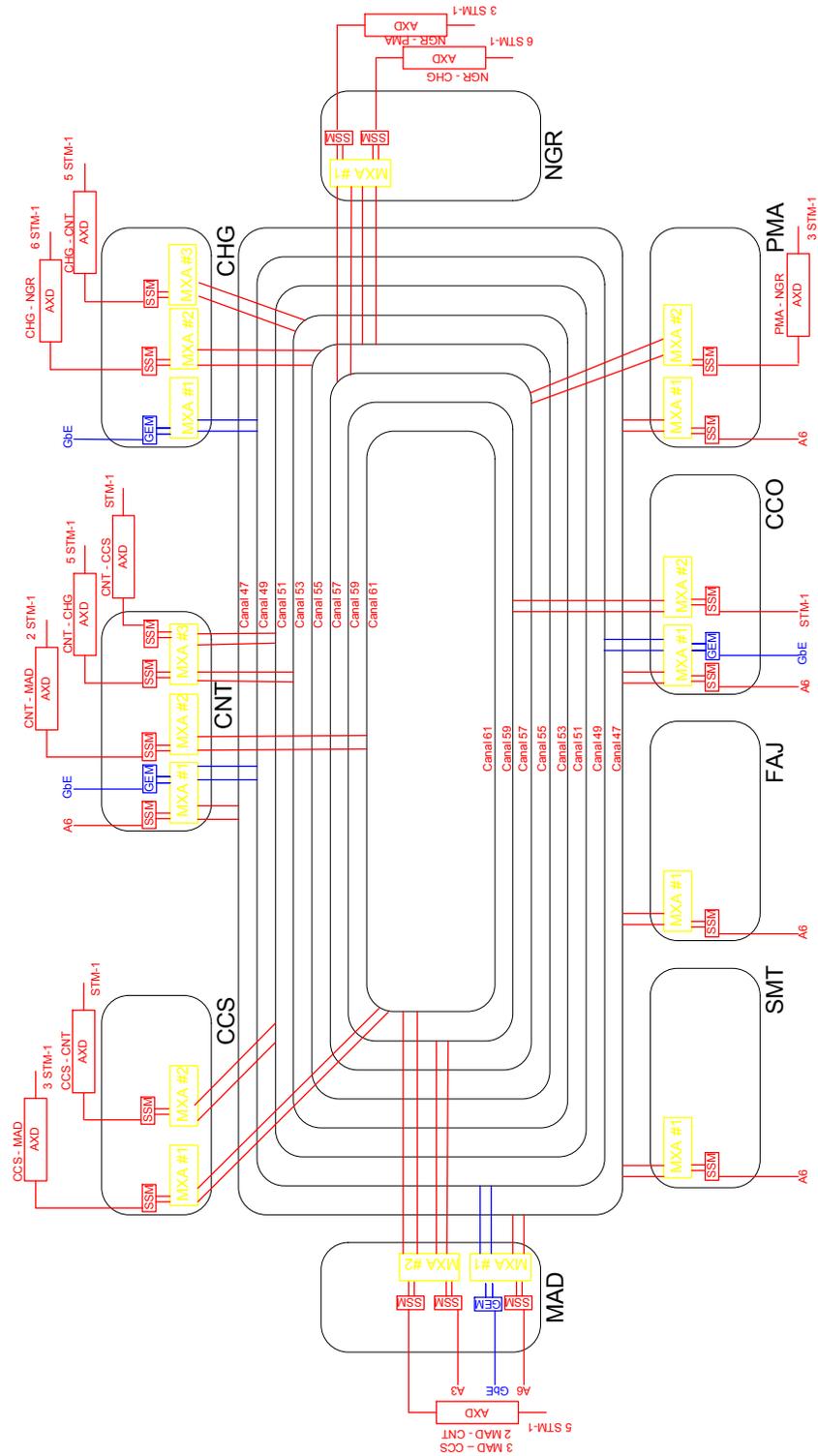
Como paso siguiente, se realizó el ESQUEMA #2, en donde se observa la asignación definitiva de las longitudes de onda que serán utilizadas, y una primera aproximación a la interconexión entre los diferentes componentes de la red. Los sistemas SDH AXD que se muestran, describen que allí se colocará un arreglo de equipos SDH AXD de forma tal que multiplexen los tributarios indicados. Los detalles de esos arreglos no se describirán por no ser objetivo del presente proyecto.

Siguiendo con el esquema, observamos por ejemplo que se transmitirán desde la central MAD cinco (5) tributarios STM-1, de los cuales dos (2) tendrán como destino la central CNT y tres (3) la central CCS, lo cual se puede constatar con los correspondientes equipos homólogos en dichas centrales.



ESQUEMA # 1. Tráfico luego de la instalación de los equipos CWDM

DIAGRAMA DE LAMBIDAS



ESQUEMA # 2. Asignación de longitudes de onda.

IV.5.4 Fibras liberadas

Uno de los objetivos principales del diseño de la red es liberar de tráfico el mayor número de fibras, lo cual se resume en la TABLA #13, donde la columna **ANTES** indica el número de fibras ópticas que están siendo utilizadas y el número de fibras ópticas oscuras en los actuales momentos, antes de la instalación de los equipos CWDM. La columna **DESPUÉS** muestra el estado de la red luego de la instalación de los equipos CWDM, y por último la columna **DIFERENCIA** señala la cantidad de fibras que fueron liberadas.

TABLA # 13. Fibras liberadas luego de la instalación del diseño propuesto.

TRAMO	ANTES		DESPUÉS		DIFERENCIA
	F.O. ocupadas	F.O. oscuras	F.O. ocupadas	F.O. oscuras	F.O. liberadas
CCO – FAJ	10	2	4	8	6
FAJ – SMT	12	6	8	10	4
SMT – MAD	2	16	4	14	4
MAD – CCS	20	4	6	18	10
CCS – CNT	14	4	6	12	8
CNT – CHG	12	6	2	16	10
CHG – NGR	16+1	2	2+1	16	14
NGR – PMA	10+1	2	2+1	10	8
PMA – CCO	4	44	2	46	2

IV.5.5 Interconexión

En este aparte, se describen las conexiones que se realizarán desde los equipos LightStack MXA hacia los ODF y entre los módulos SSM o GEM y el MUX, para cada uno de los nodos que comprende el anillo.

Para las conexiones entre los LightStack MXA y los ODF, se utilizarán Patch Cord Ópticos SMF 9/125 μm de la longitud que corresponda en cada uno de los casos con terminaciones LC-ST.

En todas las conexiones entre los módulos SSM o GEM y el MUX se utilizarán Patch Cord Ópticos SMF 9/125 μm de 1 metro de longitud con terminaciones LC-LC.

Entre los puertos de red de los módulos MUX de los LightStack MXA y los equipos GbE se utilizarán Patch Cord Ópticos MMF 62,5/125 μm de la longitud que corresponda en cada uno de los casos con terminales LC-ST.

Desde los puertos de red hasta los equipos SDH: Patch Cord Ópticos SMF 9/125 μm de la longitud que corresponda en cada uno de los casos con terminales LC-ST.

La Ingeniería de Detalle para cada uno de los nodos se debe realizar siguiendo las especificaciones descritas en el presente documento, las especificaciones técnicas definidas por CANTV en el documento Manual de Construcción de Equipos de Planta Interna en Centrales Telefónicas d/f Agosto 1992, Normas de Diseño e Instalación de los Sistemas de Puesta a Tierra en Centrales Telefónicas y Estaciones de Transmisión Cod NI-GE-122802 d/f jun-2000.

A continuación se mostrarán una serie de tablas y esquemas clasificados por nodos en los cuales se describen las conexiones correspondientes de fibra óptica. Las tablas identificadas como Cableado de línea, describen las conexiones que se realizarán entre los MUX de los LightStack MXA y los ODF, por otra parte, las identificadas como Cableado de tributarios, describen las conexiones entre los módulos SSM o GEM, con los equipos SDH o GbE respectivamente. Además de las tablas, se presentan esquemas de las conexiones entre los módulos SSM o GEM y el MUX y de éstos con los MUX de los restantes LightStack MXA del anillo.

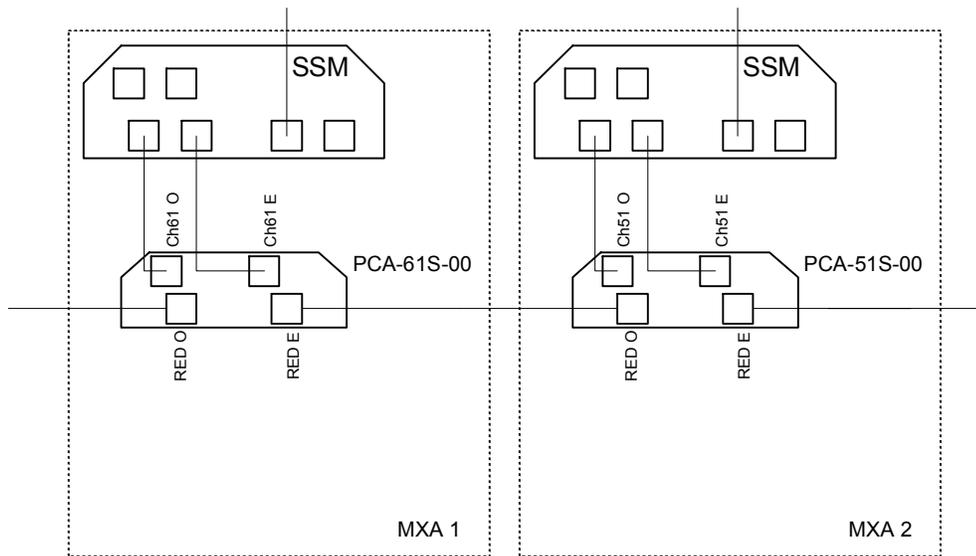
IV.5.5.1 Nodo CCS

TABLA # 14. Nodo CCS. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	RAYCHEN / 1 / 1-24 / 22 / ST	RAYCHEN / 1 / 1 – 24 / 21 / ST
MXA 2 / RED E / LC	RAYCHEN / 2 / 1-48 / 4 / ST	RAYCHEN / 2 / 1- 48 / 5 / ST

TABLA # 15. Nodo CCS. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR
MXA 2 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR



ESQUEMA # 3. Nodo CCS. Interconexión Equipos CWDm.

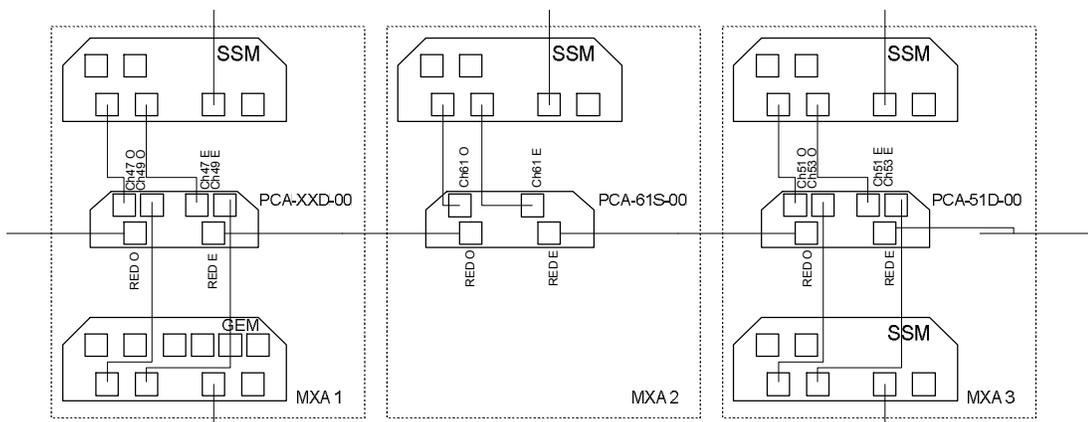
IV.5.5.2 Nodo CNT

TABLA # 16. Nodo CNT. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	ERICSSON / 1 / 1-24 / 5 / ST	RAYCHEN / 1 / 1 – 24 / 4 / ST
MXA 2 / REDE / LC	ERICSSON / 2 / 1-48 / 9 / ST	ERICSSON / 2 / 1- 48 / 10 / ST

TABLA # 17. Nodo CNT. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 6	ANILLO 6
MXA 1 / GEM 2 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO GbE	ANILLO GbE
MXA 2 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR
MXA 3 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR
MXA 3 / SSM 2 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR



ESQUEMA # 4. Nodo CNT. Interconexión Equipos CWDM.

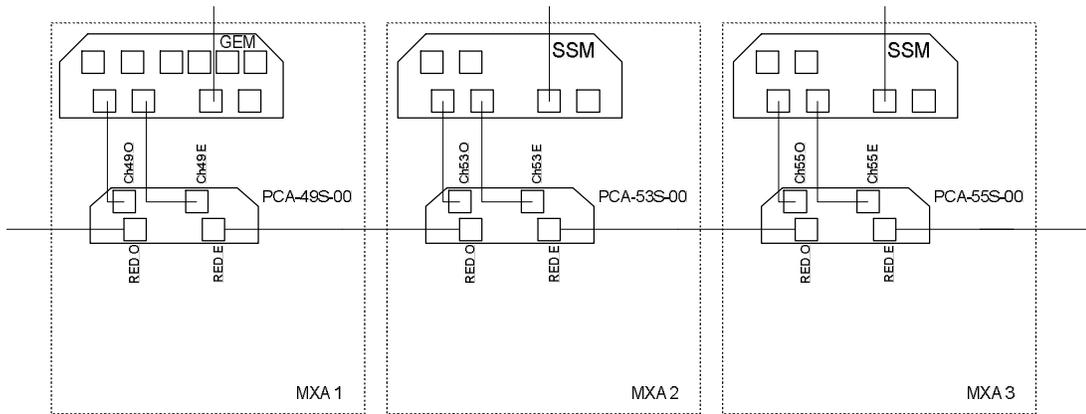
IV.5.5.3 Nodo CHG

TABLA # 18. Nodo CHG. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	ERICSSON / 1 / 1-24 / 10 / ST	RAYCHEN / 1 / 1 – 24 / 9 / ST
MXA 2 / REDE / LC	AT&T / 2 / 1-19 / 17 / ST	AT&T / 2 / 1- 48 / 18 / ST

TABLA # 19. Nodo CHG. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / GEM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO GbE	ANILLO GbE
MXA 2 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR
MXA 3 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR



ESQUEMA # 5. Nodo CHG. Interconexión Equipos CWDM.

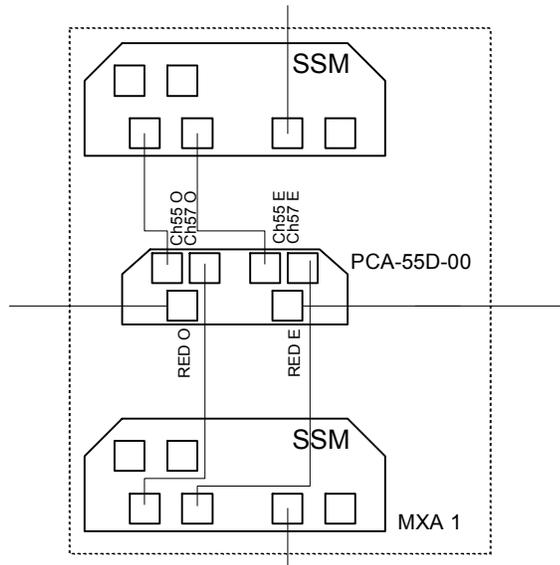
IV.5.5.4 Nodo NGR

TABLA # 20. Nodo NGR. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	ERICSSON / 1 / 1-18+1 / 18 / ST	ERICSSON / 1 / 1-18+1 / 17 / ST
MXA 2 / REDE / LC	TELETTRA / 2 / 1-13 / 1 / ST	TELETTRA / 1 / 1- 13 / 12 / ST

TABLA # 21. Nodo NGR. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR
MXA 1 / SSM 2 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR



ESQUEMA # 6. Nodo NGR. Interconexión Equipos CWDM.

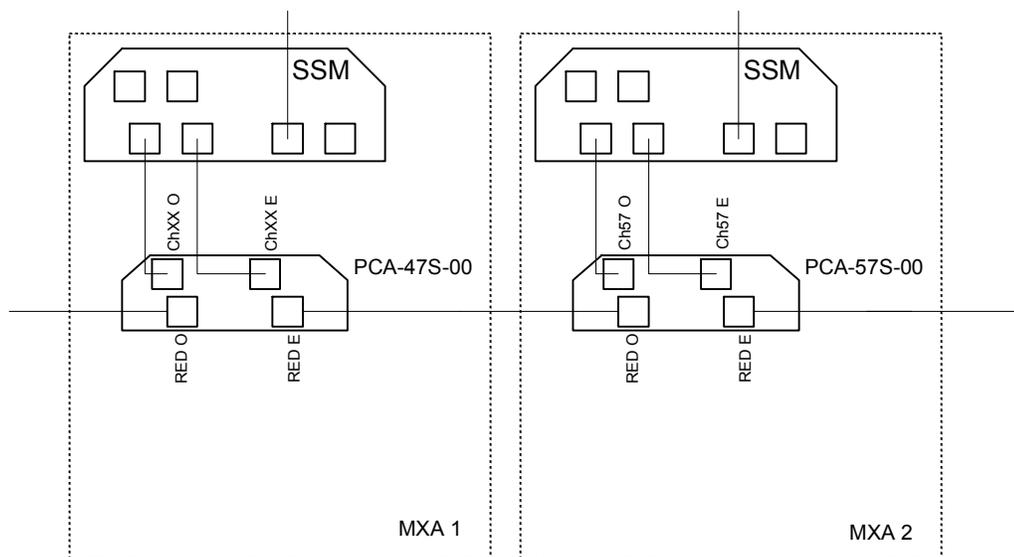
IV.5.5.5 Nodo PMA

TABLA # 22. Nodo PMA. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	TELETTRA / 1 / 1-12+1 / 12 / ST	TELETTRA / 1 / 1 – 12+1 / 1 / ST
MXA 2 / REDE / LC	AT&T / 2 / 1-19 / 7 / ST	AT&T / 2 / 1- 48 / 8 / ST

TABLA # 23. Nodo PMA. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 6	ANILLO 6
MXA 2 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	SDH – A INSTALAR	SDH – A INSTALAR



ESQUEMA # 7. Nodo PMA. Interconexión Equipos CWDM.

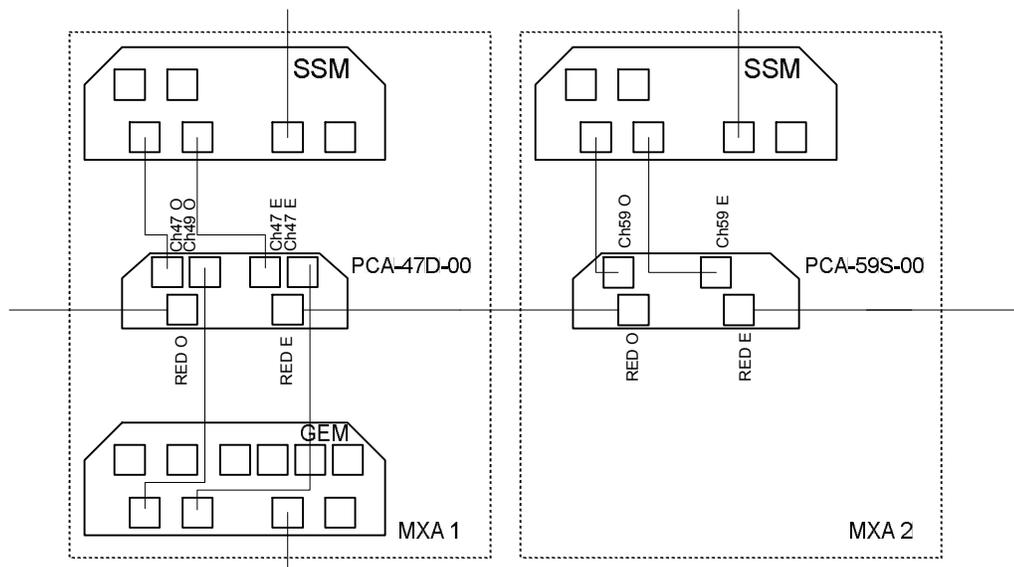
IV.5.5.6 Nodo CCO

TABLA # 24. Nodo CCO. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	AT&T / 1 / 1-48 / 8 / ST	AT&T / 1 / 1 - 48 / 7 / ST
MXA 2 / RED E / LC	TELETTRA / 1 / 1-12 / 7 / ST	TELETTRA / 1 / 1- 12 / 9 / ST

TABLA # 25. Nodo CCO. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 6	ANILLO 6
MXA 1 / GEM 2 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO GbE	ANILLO GbE
MXA 2 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	STM-1	STM-1



ESQUEMA # 8. Nodo CCO. Interconexión Equipos CWDM.

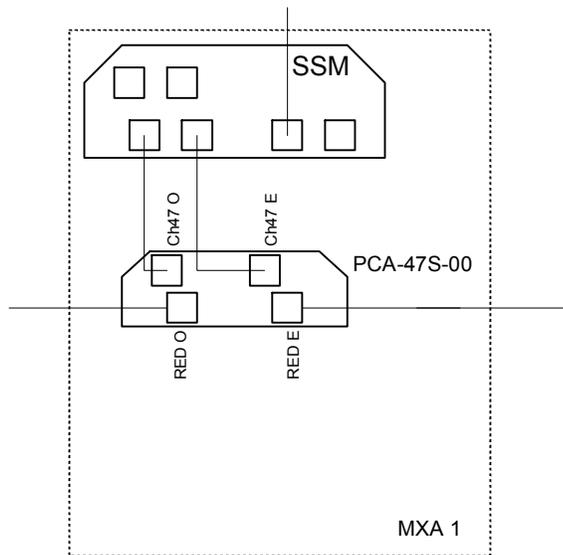
IV.5.5.7 Nodo FAJ

TABLA # 26. Nodo FAJ. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	TELETTRA / 1 / 1-48 / 9 / ST	TELETTRA / 1 / 1 – 48 / 7 / ST
MXA 2 / RED E / LC	TELETTRA / 1 / 1-12 / 15 / ST	TELETTRA / 1 / 1- 12 / 16 / ST

TABLA # 27. Nodo FAJ. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 6	ANILLO 6



ESQUEMA # 9. Nodo FAJ. Interconexión Equipos CWDM.

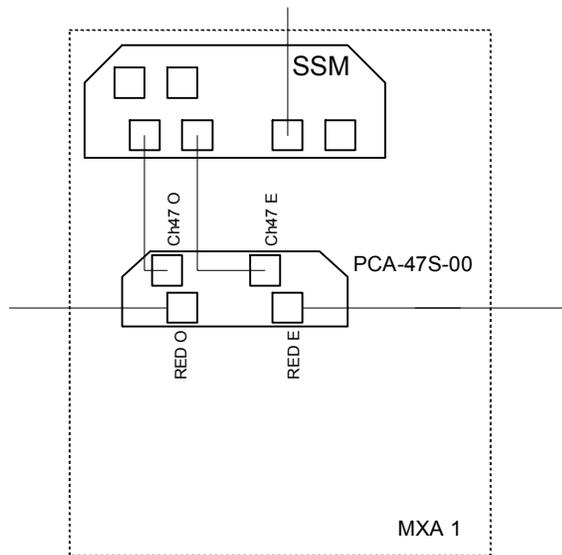
IV.5.5.8 Nodo SMT

TABLA # 28. Nodo SMT. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	TELETTRA / 1 / 1-18 / 16 / ST	TELETTRA / 1 / 1 – 18 / 15 / ST
MXA 2 / REDE / LC	AT&T / 1 / 1-24 / 17 / ST	AT&T / 1 / 1- 24 / 18 / ST

TABLA # 29. Nodo SMT. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 6	ANILLO 6



ESQUEMA # 10. Nodo SMT. Interconexión Equipos CWDM.

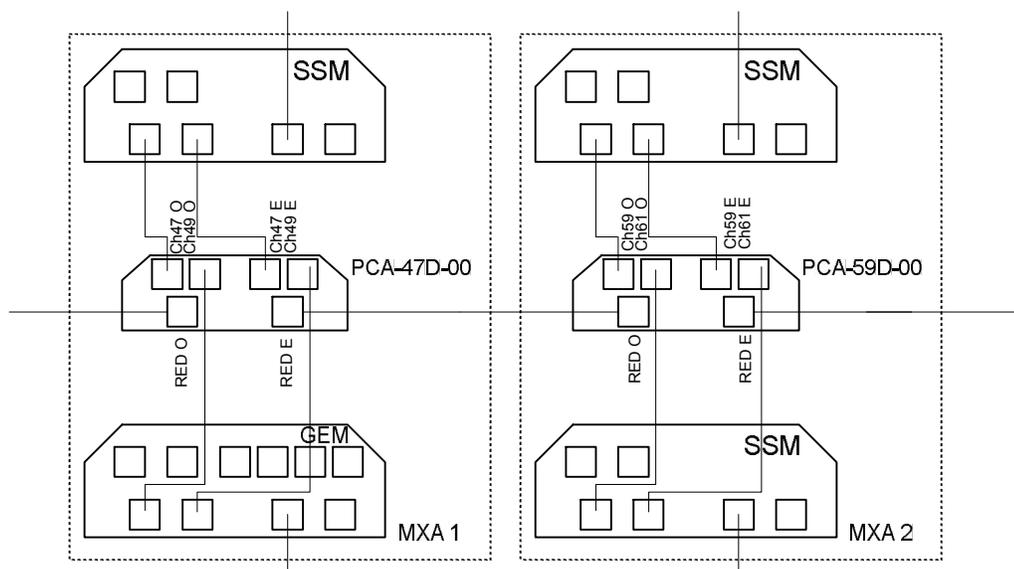
IV.5.5.9 Nodo MAD

TABLA # 30. Nodo MAD. Cableado de línea.

Cableado de líneas		
MXA (número, puerto, conector)	ODF (marca, número, cable, posición, conector)	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / RED O / LC	AT&T / 1 / 1-24 / 18 / ST	AT&T / 1 / 1- 24 / 17 / ST
MXA 2 / REDE / LC	TELETTRA / 1 / 1-24 / 21 / ST	TELETTRA / 1 / 1- 24 / 22 / ST

TABLA # 31. Nodo MAD. Cableado de tributarios.

Cableado de tributarios		
MXA (número,, módulo, puerto, conector)	EQUIPO	
Tx y Rx	Tx	Rx
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 6	ANILLO 6
MXA 1 / GEM 2 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO GbE	ANILLO GbE
MXA 1 / SSM 1 / B1 TRIBLINE / LC	ANILLO 3	ANILLO 3
MXA 1 / SSM 2 / B1 TRIBLINE / LC	SDH A INSTALAR	SDH A INSTALAR



ESQUEMA # 11. Nodo MAD. Interconexión Equipos CWDM.

IV.5.6 Esquema de protección

La protección de las señales ofrecida por el equipo LightStack MAX, se basa en el envío simultáneo (Este y Oeste) de una misma longitud de onda, desde un nodo A, por ambos extremos (líneas) a un nodo de destino B, el cual posee un módulo que se encarga de seleccionar la señal de mejor calidad, que será utilizada. La protección se activará al ocurrir un LOS, LOF, AIS, OCI, SF-L, SF-P.

Cabe destacar que la configuración de la protección es 1+1, unidireccional, con un tiempo de conmutación menor a 50 μ s, además no reversible.

Adicionalmente, CANTV podría configurar protección a nivel de la señal del cliente o tributaria, añadiendo los respectivos SFP.

IV.5.7 Disponibilidad del sistema

Utilizando como base el MTBF (Mean Time Between Failures) del sistema LightStack MXA, se puede determinar que la disponibilidad del sistema asociado al anillo CDWM es de 99,997% considerando un MTTR (Mean Time To Recover) de cuatro horas, tiempo estimado por la Gerencia de Control de Procesos en el documento Manual de Normas y Procedimientos CÓD. NP-00X. En éste cálculo sólo

se considera la disponibilidad de los equipos CWDM (Módulos de Energía Redundante, Módulos Pasivos, Módulos Activos, Plug-ins), no se incorporó la disponibilidad de los subsistemas de fibra óptica, energía y red cliente, debido a que sería necesario realizar estimaciones sobre los tiempos de reparación de la fibra óptica en estudio, basadas en las normas y procedimientos que sigue el personal técnico de la corporación, lo cuál se aleja de los objetivos del presente trabajo.

CONCLUSIONES

La fibra óptica actualmente instalada, cumple con las recomendaciones emanadas por la UIT para la transmisión mediante CWDM, lo cual hace posible la colocación de equipos CWDM de cualquier fabricante que cumplan con las respectivas recomendaciones de la UIT.

Existe, al menos, una forma más efectiva de plantear el incremento de la capacidad de la red mediante la adquisición de nuevos equipos de tecnología CWDM, siendo el primer paso para ello realizar un estudio de tráfico de la Red Urbana en toda su extensión y no limitándose a un anillo en específico, como en el presente trabajo, para así luego seleccionar aquellos tramos cuya capacidad esté copada o se espera que su crecimiento a mediano plazo lo haga, y de allí realizar el diseño.

Aún cuando los fabricantes de fibra óptica garanticen su funcionamiento dentro de ciertos parámetros, en los cuales un diseñador podría basar su trabajo, fue necesario para poder afinar los cálculos, la caracterización de la fibra óptica mediante las pruebas de reflectometría y potencia.

Se establecieron amplia y claramente los criterios por los cuáles se seleccionaron los equipos que conformarán la red diseñada, siendo para ello necesario conocer a fondo cada uno de los componentes que conforman al sistema y además realizar bocetos que contuvieran entre otras cosas, la topología de la red, y la capacidad de transporte que se requerirá.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio técnico-económico en cuánto a la creación de una nueva ruta para alguno de los cables de fibra óptica tendidos sobre una misma canalización, entre las centrales CCO y FAJ y las centrales CCO y PDM, y de ésta manera reducir la posibilidad de aislamiento de la central CCO, lo cuál representaría una pérdida en cuanto a enlaces de por lo menos: 1 STM-1, 2 STM-16, 1 GbE y 1 PDH 140.

Estudiar de forma macro a la red de transmisión urbana, en cuánto al tráfico cursante y sus proyecciones a mediano plazo, para así seleccionar los enlaces que se encuentran copados o que se espera lo estén, y diseñar en base a ello la red con tecnología CWDM.

Antes de continuar con la Ingeniería de Detalle de este proyecto y/o con los temas en los cuales se debe profundizar más, como por ejemplo el diseño de los arreglos de multiplexación SDH que se utilizarán, se debe realizar un estudio de factibilidad económica.

Luego de la instalación y comprobación del correcto funcionamiento, liberar las fibras de respaldo ocupadas por los equipos SDH actuales, dejando así toda la protección al anillo CWDM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Gerencia de Ingeniería y Construcción Transmisión y Datos. *Esquemáticos Red de Transporte Septiembre 2004*, Caracas: CANTV, 2004. p.p. 15-28

[2] Molina B., Faimy N. Evaluación del desempeño de diversos tramos de la red de fibra óptica instalada para la introducción de los sistemas DWDM a la red de CANTV. / Faimy Natacha Molina Blanco (Tesis). – Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2004.

[3] Mencia R., Pedro J. Evaluación y selección de los sistemas de tecnología DWDM para su integración en la red de transporte CANTV. / Pedro Javier Mencia Rondón (Tesis). – Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002.

[4] Vieites F., Carlos R.. Implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth y evaluación teórica de equipos DWDM. / Carlos Ramiro Vieites Freire (Tesis). - Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2003.

[5] Fotodetector basado en un dispositivo PIN y un amplificador de transimpedancia. Facultad de Ciencias de la Electrónica. México. Septiembre de 2002. p.p. 3-5

[6] Gumaste, Ashwin; Anthony, Tony. *DWDM Network Designs and Engineering Solutions*, EEUUAA: Cisco Press. (2002). p.p. 218

[7] Lightwave Magazine, White Papers. <<http://lw.pennnet.com>> [Consulta 2005]

[8] Gumaste, Ashwin; Anthony, Tony. *DWDM Network Designs and Engineering Solutions*, EEUUAA: Cisco Press. (2002). p.p. 253

[9] Toshiyuki Miyamo, Ron Lindsay. NICT News.-- EN: National Institute of Information and Communications Technology (NICT). -- Agosto de 2003. (2004), p.p 3.

[10] Segundo Congreso Nacional de Electrónica 24,25 y 26 de Septiembre de 2002. Centro nacional de Convenciones William Jenkins Puebla. México.

[11] Optical Test Plataform <www.jdsu.com> [Consulta 2005]

[12] Physical Layer Characterization <<http://www.nettest.com>> [Consulta 2005]

[13] Gerencia de Ingeniería y Construcción Transmisión y Datos. *Ampliación de la red Capital 2005*, Caracas: CANTV, 2005. p.p. 20-39

[14] Cisco Press. Ethernet <www.cisco.com> [Consulta 2006]

BIBLIOGRAFÍAS

Molina B., Faimy N. Evaluación del desempeño de diversos tramos de la red de fibra óptica instalada para la introducción de los sistemas DWDM a la red de CANTV. / Faimy Natacha Molina Blanco (Tesis). – Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2004.

Mencia R., Pedro J. Evaluación y selección de los sistemas de tecnología DWDM para su integración en la red de transporte CANTV. / Pedro Javier Mencia Rondón (Tesis). – Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2002.

Vieites F., Carlos R.. Implementación de un sistema DWDM en la red interurbana de fibra óptica de Telcel Bellsouth y evaluación teórica de equipos DWDM. / Carlos Ramiro Vieites Freire (Tesis). - Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2003.

Gumaste, Ashwin; Anthony, Tony. *DWDM Network Designs and Engineering Solutions*, EEUUAA: Cisco Press. 2002.

Universidad Simón Bolívar, Biblioteca Central U.S.B. [en línea]. <<http://www.usb.ve>> [Consulta: 2005]

CISCO. Networking Academy Program. <<http://www.cisco.com>> [Consulta: 2006]

Gemini Innovations. Application Notes. <<http://www.gemini-inc.com/appnotes/optical/tdrapp.htm>> [Consulta 2006].

Lightwave Magazine, White Papers. <<http://lw.pennnet.com>> [Consulta 2005]

Procedimiento de medición para un enlace de fibra óptica <<http://reddeacceso.com>> [Consulta 2005]

Yagüe, Adolfo García. Redes ópticas, tecnologías para el transporte y conmutación ópticas. Unitronics Comunicaciones S.A. Toledo: Jornadas Técnicas RedIRIS, 2004

Perros, Harry G. Connection Oriented Networks. Inglaterra: Editorial John Wiley & Sons, Ltd., 2005

Preparación de manuales para los países en desarrollo. Nuevas Tecnologías que sustentan nuevas redes. UIT-D. Fascículo 1, 295 p.

Persson, Thomas. LightStack MXA Technical Description. EEUUAA Ericsson Wide Internal. 2004

Philippe, Jean. Network recovery, protection and restoration of optical, Sonet - SDH, IP, And MPLS. Editorial ELSEIVER. Morgan Kaufmann Publishers. EEUUAA. 2004

Commercial Building Telecommunications Cabling Standard. TIA/EIA-568-B 2001

GLOSARIO

CWDM: Sistema que multiplexa diferentes señales en diferentes longitudes de onda para ser transmitidas sobre una fibra.

Láser: Es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente de un medio adecuado y con el tamaño, la forma y la pureza controlados.

Mediano plazo: período convencional generalmente aceptado de dos a seis años, en el que se define un conjunto coherente de objetivos y metas a alcanzar y de políticas de desarrollo a seguir, vinculados a los objetivos del plan a largo plazo.

PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona, es una tecnología usada para transportar grandes cantidades de información mediante equipos digitales de transmisión que funcionan sobre fibra óptica, cable coaxial o radio de microondas.

Plan de longitudes de onda: UIT. Conjunto de referencia de longitudes de onda ópticas en el vacío que sirve para indicar las longitudes de onda centrales nominales permitidas que pueden utilizarse en la definición de las aplicaciones.

SDH: Estándar europeo que define una serie de tasas y formatos normalizados que se transmiten usando señales sobre fibra óptica.

WDM: Es una tecnología 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 LED.

ANEXO N° 1

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO CWDM LIGHTSTACK MXA

El LightStack MXA es un equipo modular, compuesto básicamente por dos módulos de alimentación, uno de multiplexación, dos para la adecuación de las señales, y varios módulos transceptores. En las figuras FIGURA #29 y FIGURA #30 se muestran una vista frontal y una posterior el equipo, indicando dónde se insertan cada uno de los módulos.

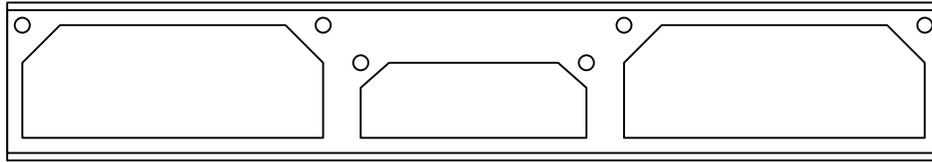


FIGURA # 1. Vista frontal del MXA, indicando la ubicación de los módulos.

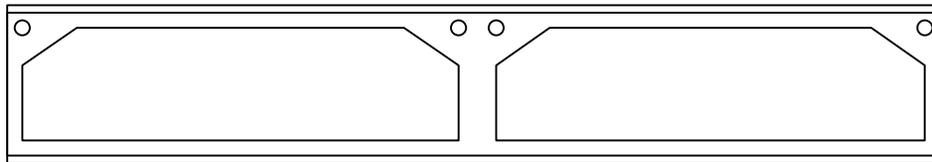


FIGURA # 2. Vista posterior del MXA, indicando la ubicación de los módulos.

Cada equipo LightStack MXA provee de transmisión hasta de cuatro (4) longitudes de onda protegidas, pero se puede conectar a otro LightStack MXA y de ésta forma aumentar el número de canales a ocho (8), los cuales cumplen con la recomendación UIT G.694.2.

Dependiendo de la señal que se requiere transportar, esta debe ser introducida en un módulo SSM o GEM, para su adecuación y posterior multiplexación y demultiplexación mediante el módulo MUX. La TABLA #32 muestra las señales que pueden transportar los módulos GEM y los SSM.

TABLA # 1. Servicios soportados.

Módulo	Servicios
SSM	SDH (STM-1,- 4,-16) SONET (OC- 3,-12,-48)
GEM	GbE 10/100 Base-T

	Fibre Chanel
--	--------------

En cuanto a la alimentación, puede proveerse de dos módulos, uno de alimentación principal y otro de redundancia, en éste caso ambos módulos estarían en funcionamiento tiempo completo.

Módulos transceptores

Las interfaces ópticas del equipo LightStack MXA usan transceptores SFP (Small Form Factor Pluggable) removibles, los cuales deben seleccionarse según la longitud de onda requerida y alcance de la transmisión del sistema a diseñar.

A continuación, se presenta una lista con la gama de transceptores y sus respectivas características de longitud de onda y alcance.

OPT-SX: Trabaja a 850 nm, sólo en fibra multimodo, alcanzando de 300m a 500m.

OPT-LX: Trabaja a 1310 nm, sólo en fibra monomodo (SMF) y puede ser usado como interfaz para dispositivos a una distancia entre 10-20 km. No puede ser usado en módulos SSM

OPT-SR1: Es un transceptor de 1310 nm. Solo sirve como interfaz a fibra monomodo (SMF) y puede ser usado como interfaz para dispositivos a una distancia entre 10-20 km. No puede ser usado en módulos GEM.

OPT-IR1-H Un transceptor de 1310 nm. Solo sirve como interfaz a fibra de monomodo (SMF) y puede ser usado como interfaz para dispositivos a una distancia entre 25-40 km.

OPT-xxxx: Un surtido de transceptores de CWDM donde xxxx designa la longitud de onda de transmisión. Estos transceptores en conjunto con la plataforma de multiplexación de longitudes de onda del LightStack MXA proporcionan el medio para transmitir hasta 8 canales de CWDM sobre una sola fibra. Todas las longitudes de onda están conformes con ITU G.694.2. Estos transceptores solo sirven como interfaz a fibras de monomodo y pueden ser usados para distancias hasta 100 km.

OPT-xxxx-U: Un surtido de transceptores de CWDM donde xxxx designa el canal de transmisión. Son similares a los de la línea de OPT-xxxx, pero tienen un alcance mayor y pueden llegar a dispositivos de hasta 120 km de distancia

Todos los transceptores de CWDM están disponibles en ocho longitudes de onda de CWDM asignadas como sigue con una separación de 20 nm:

1471 nm / 1491 nm / 1511 nm / 1531 nm

1551 nm / 1571 nm / 1591 nm / 1611 nm

Se disponen de dos tipos de SFP, el PIN y el APD, cuyas características se muestran en las tablas a continuación, las cuales están definidas para obtener un BER máximo de 10^{-12} .

TABLA # 2. Potencia de Tx. Interfaz CWDM SFP w. Con Receptor PIN.

Interfaz	Potencia Tx [dBm]	
	Típico	Mínimo
	2	0

TABLA # 3. Sensibilidad de Rx. Interfaz CWDM SFP w. Con receptor PIN.

Interfaz	Sensibilidad Rx [dBm]	
	Típico	Mínimo
OC- 3/STM-1 OC- 12/STM-4	-26,5	-24
GbE FC	-25,5	-23
OC- 48/STM-16	-23	-20

TABLA # 4. Potencia de Tx. Interfaz CWDM SFP w. Con receptor APD.

Interfaz	Potencia Tx [dBm]	
	Típico	Mínimo
	-5	-9,5

TABLA # 5. Sensibilidad de Rx. Interfaz CWDM SFP w. Con receptor APD.

Interfaz	Distancia [km]	Sensibilidad Rx [dBm]	
		Típico	Mínimo
OC- 3/STM-1 OC- 12/STM-4	25	-25	-23
GbE FC	10	-25	-22
OC- 48/STM-16	5	-22	-18

TABLA # 6. Potencia de Tx. Interfaz CWDM GEM Y SSM

Interfaz	Potencia Tx [dBm]	
	Típico	Mínimo
1000Base - SX	-5	-9,5

TABLA # 7. Sensibilidad de Rx. Interfaz CWDM GEM Y SSM

Interfaz	Sensibilidad Rx [dBm]	
	Típico	Mínimo
1000Base - SX	-21	-17

Módulo Mux

Es un módulo pasivo que se inserta en el chasis del LightStack MXA y se encarga de la multiplexación y demultiplexación de los canales cursantes por una fibra. Es compatible con los canales CWDM e independiente del formato y velocidad, además el formato de la interfaz es duplex.

Módulo GEM

El módulo GEM (Gigabit Enhancement Module) consiste en cuatro puertos de transceptores ópticos SFP que soportan 850 nm, 1310 nm o longitudes de onda CWDM, cuatro interfaces de cliente 10/100Base-T, un puerto de RS-232 y un puerto de gestión 10/100Base-T DCN.

Soporta hasta dos interfaces ópticas GbE de cliente, cuatro interfaces 10/100Base-T de cliente y dos interfaces de Fibre Channel. Solo dos interfaces de cliente pueden usarse simultáneamente. En cada módulo se pueden configurar dos interfaces ópticas de red para proporcionar redundancia sin protección o protegida 1+1.

El módulo GEM provee de conectividad a la red para los clientes de servicios de datos Ethernet, GigabitEthernet, Fibre Channel, y FICON. Un solo módulo no puede ser configurado para proveer de diferentes servicios.

El módulo GEM tiene una latencia para la Capa 1 de menos de 5 micro segundos y para la capa 2 una latencia menor a 19 segundos.

Para la sincronización y el jitter, cumple con las normas 802.3 de la IEEE para la Gigabit Ethernet y el ANSI X.3.230 para el Fiber Channel.

Módulo SSM

La función del módulo SSM es la de adecuar señales tributarias SDH para ser transportadas por CWDM. El módulo se incorpora al chasis del LightStack MXA para su alimentación posterior conexión con un Mux/Demux.

El módulo SSM posee cuatro puertos ópticos SFP que soportan 1310 nm o longitudes de onda CWDM. Provee de conexión de red a los tributarios SDH o SONET de las frecuencias: 155.52 Mb/s, 62208 MB/s, 2.48832 Gb/s, 2.66606 Gb/s.

En cuanto a la latencia, para la Capa 1 es menor a 5 μ s.

Sincronización: SSM - Through timing

Pull in Range (Margen de captura): ± 20 ppm

Free Run Accuracy (Exactitud en ejecución libre): ± 4.6 ppm

Jitter: SSM - G.958 Tipo A y B (transferencia/tolerancia) y G.813 (generación) para STM-N

G.8251 para OTU1, GR-253 para OC-N

Además posee un puerto RS-232 para la gestión local, y un puerto de gestión 10/100Base-T DCN para la gestión remota.

En cada modulo SSM dos interfaces ópticos del lado red proporcionan redundancia sin protección o protegida 1+1.

Notas

Las señales SDH no son terminadas ni administradas por el terminal CWDM, además no es desarrollado ningún procesamiento digital de las señales de tráfico SDH transportadas.

Cada canal es asociado a una longitud de onda fija.

El equipo CWDM no es un equipo SDH, aunque es usado para la transmisión de señales SDH.

El SSM es transparente para los ADM existentes en SDH, en cuanto a transporte y el control.

Se puede configurar para que trate al encabezado de las tramas SDH de forma transparente, es decir leerlo, procesarlo y ponerlo a disposición para la supervisión, o puede también realizar funciones de regeneración.

Configuración de los puertos ópticos del SSM

Los puertos ópticos del módulo SSM pueden operar en uno de los siguientes modos de servicio:

Physical Transparency Mode: en este modo no incursiona en el bit B1 de la trama SDH ofreciendo transporte completo para todas las cabeceras SDH/SONET.

Section Repeater Mode: en este modo actúa como una sección de repetición.

Gestión

La gestión del equipo se puede realizar de forma local o remota, con posibilidad de ser incorporado a una amplia gama de redes DCN (Data Communication Network), entre estas se encuentran: SNMP (v1, v2, v3) y HTTP.

La conexión del equipo con la red de gestión se puede realizar a través de las interfaces:

- Interfaz serial por un puerto hembra de RJ-45 en la consola.

- Ethernet 10/100 Base-T (RJ-45)
- ECC (Embedded Communications Channel)

Aprobaciones por entes reguladores

Entre los entes reguladores internacionales que emitieron aprobación del equipo se encuentran:

UL 60950 3era Edición	NE
Certificado CSA, CSA C22.2, No. 60950	BS Nivel 3
FCC Subparte B, Parte 15, Clase A servicios digitales	CE Mark
EN 60950	ETSI

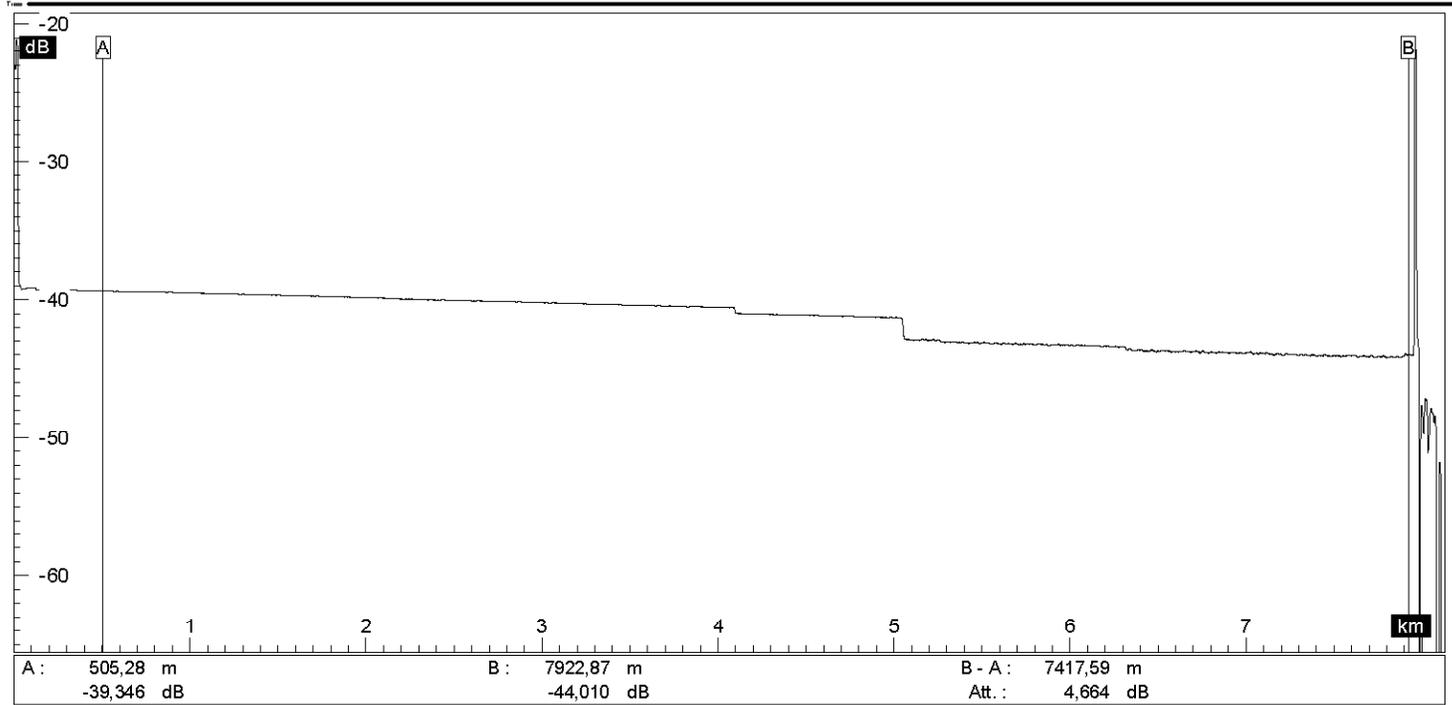
Características eléctricas

Fuentes redundantes de -48V DC o de 110/220 V AC.

Potencia máxima consumida: 75 W.

Archivo : cco_faj_07.wtk OTR : MTS 5100 Num. 903
 Fecha : 26/01/2006 02:58:35 p.m. Modulo : 5026HD Num. 863

Configuración
ORIGEN Extrem. : FAJ Coef. retrodispersion : -80,00 dB
 Cable : 1 Lambda (nm) : 1550 Umbrales de pérdidas : No (H-M)
 Fibra : 7 Indice : 1,465500 Umbrales de pendientes : 0,000 dB/km
EXTREMO Impulso (ns) : 100 Umbrales de reflectancias Todo (H-M)
 Cable : 1 Rango (km) : 10,228
 Fibra : 7 Promed. : 10
 Dirección : O->E Resolución : -
 Origen : CCO

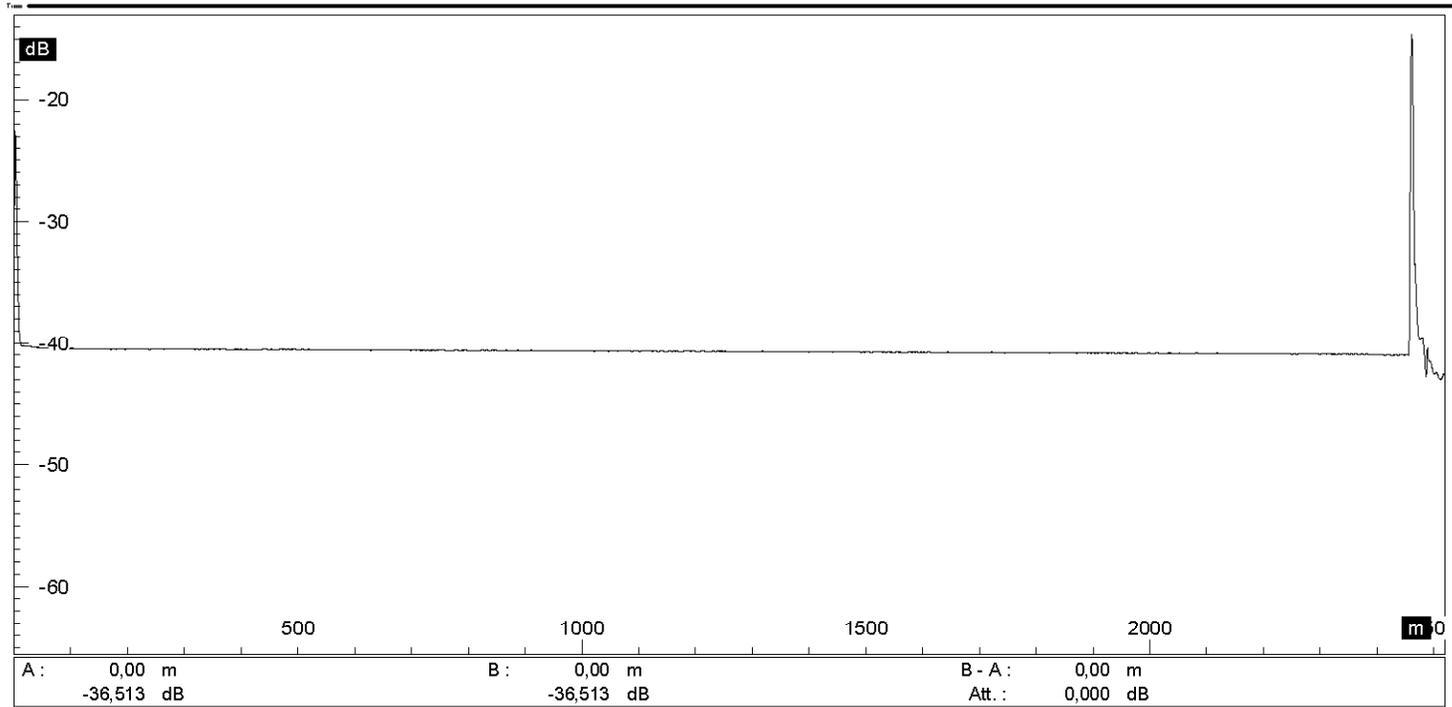


Evento (1)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Presupuesto (dB)
1	4172,18	0,3		0,240	4172,18	
2	5134,32	1,97		0,336	962,14	
3			24,78			

Archivo : faj_smt_15.wtk OTDR : MTS 5100 Num. 903
 Fecha : 27/01/2006 11:22:25 a.m. Modulo : 5026HD Num. 863

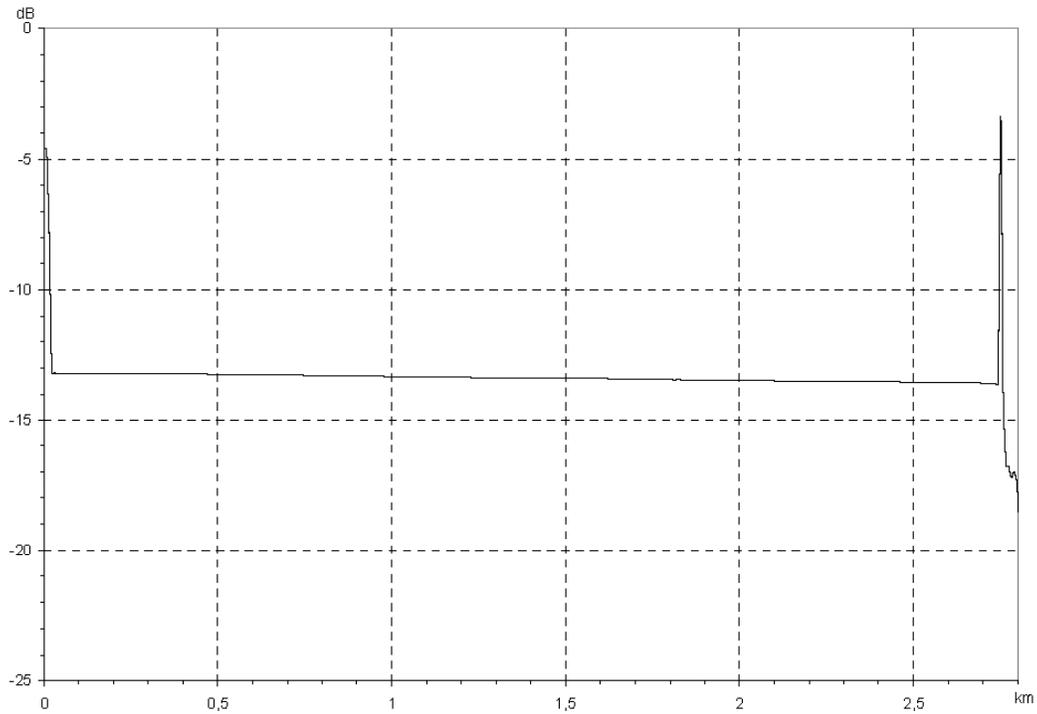
Configuración

ORIGEN	Extrem. :	SMT	Coef. retrodispersion :	-82,50 dB
Cable :	Lambda (nm) :	1550	Umbrales de pérdidas :	No (H-M)
Fibra :	Indice :	1,476100	Umbrales de pendientes :	0,000 dB/km
EXTREMO	Impulso (ns) :	20	Umbrales de reflectancias :	Todo (H-M)
Cable :	Rango (km) :	5,077		
Fibra :	Promed. :	15		
Dirección :	Résolución :	-		
Origen :				



Evento (1)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Presupuesto (dB)
1			16,68			

smt_mad_13.sor



Language: SP
Cable ID: 1
Fiber ID: 13
Wavelength: 1550
Org. Loc: SMT
Term. Loc: MAD
Cable Code:
Condition: BC
Operator: JOSELUI
Comment:
Supplier: Anritsu
OTDR Model: MU250000A
S/N: 6200048868
Optics Mod: MW9076B
S/N: 6200048868
S/W Rev.: 2.1
Other:

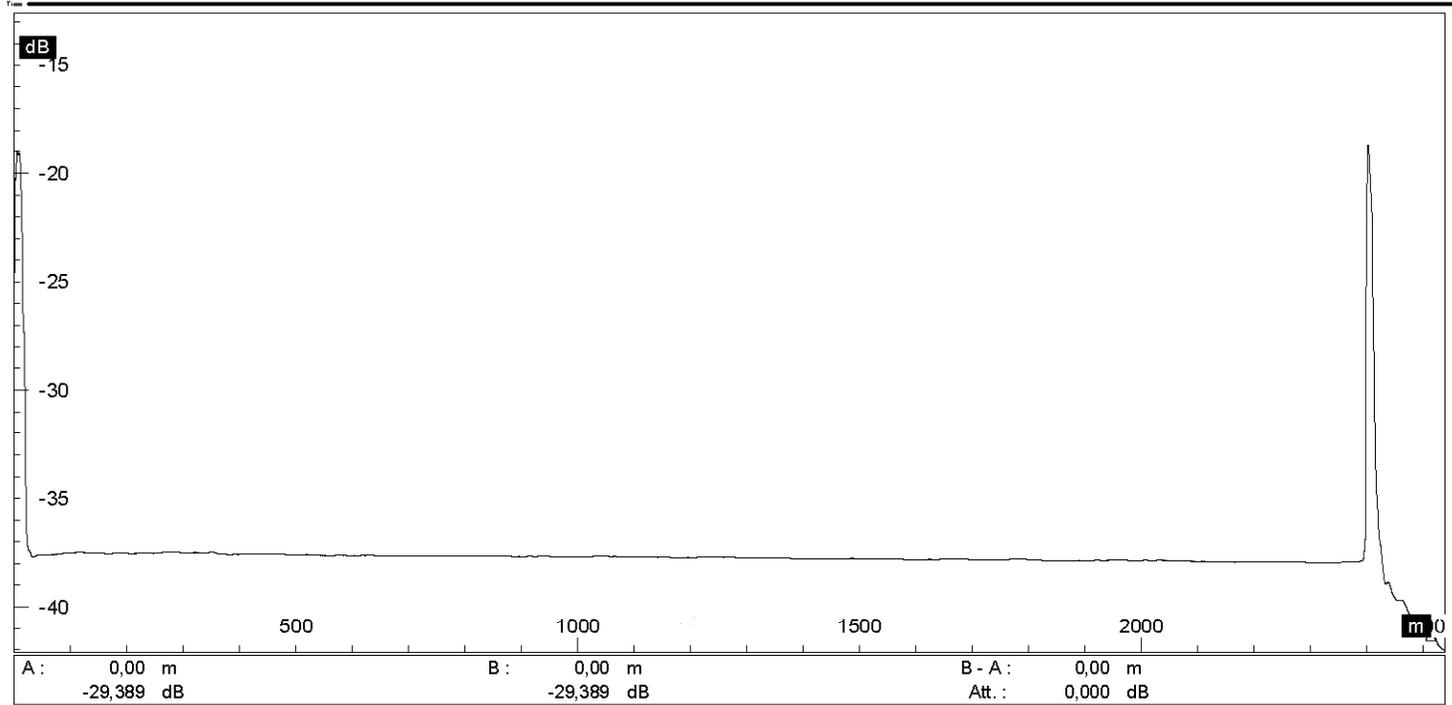
Traza ppal: smt_mad_13.sor
Fecha: 22/02/06
Hora: 09:10 AM
Producto: MU250000A
Módulo óptico: MW9076B
Tipo de fibra: Monomodo
Umbrales FAS:
Pérdida: 0.23 dB/km
Reflectancia: -10 dB
Retrodispersión: -81 dB

Rango: 5 km
Resolución: 2 m
Ancho de imp: 50 ns
Índice: 1.476100
Log onda: 1550 nm
Despl hor: 0.0000 km
Despl vert: 0.00 dB
Nº medias: 15

Archivo : mad_ccs_21.wtk OTDR : MTS 5100 Num. 903
 Fecha : 24/02/2006 01:50:54 p.m. Modulo : 5026HD Num. 863

Configuración

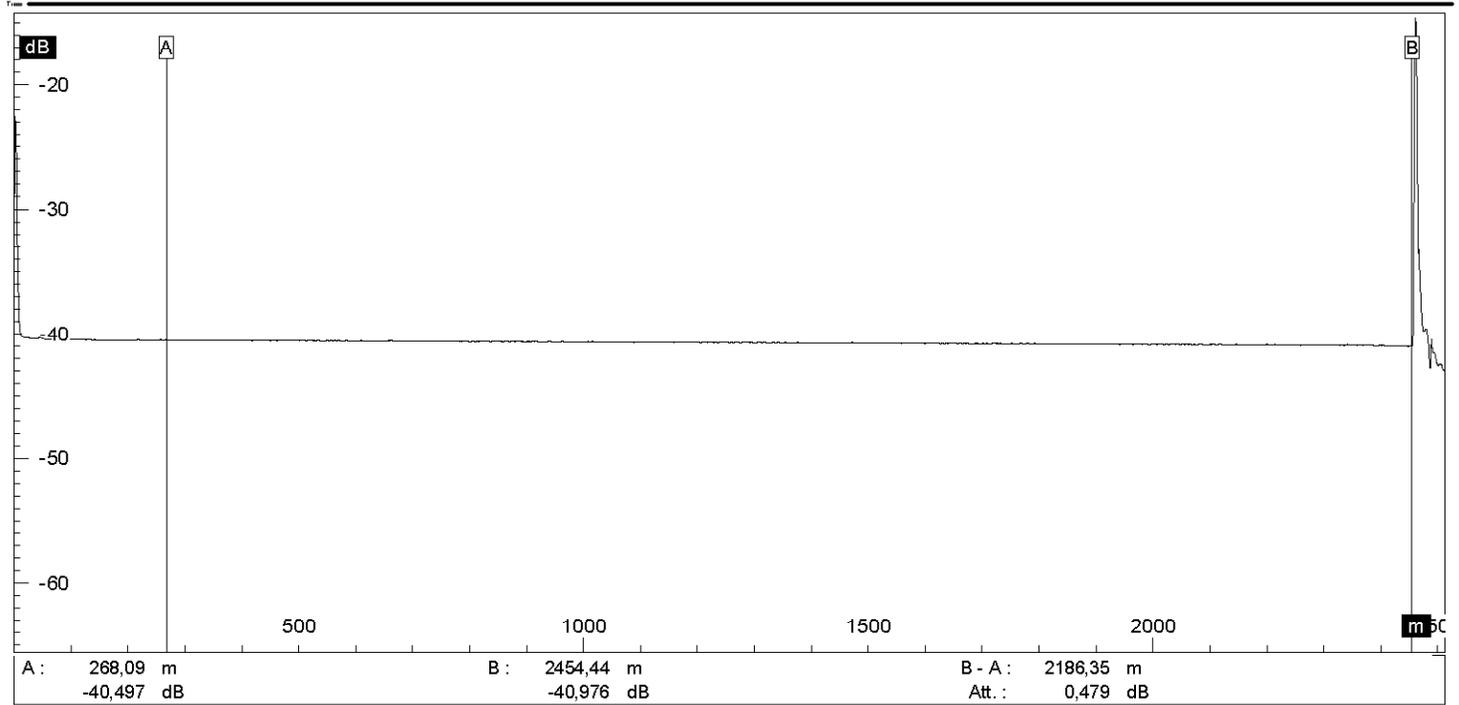
ORIGEN	Extrem. :	CCS	Coef. retrodispersion :	-82,50 dB
Cable :	Lambda (nm) :	1550	Umbrales de pérdidas :	No (H-M)
Fibra :	Indice :	1,476100	Umbrales de pendientes :	0,000 dB/km
EXTREMO	Impulso (ns) :	100	Umbrales de reflectancias :	Todo (H-M)
Cable :	Rango (km) :	2,539		
Fibra :	Promed. :	5		
Dirección :	Résolución :	-		
Origen :				



Evento (3)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Pérdidas (dB)
1			16,70			

Archivo : ccs_cnt_04.wtk OTDR : MTS 5100 Num. 903
 Fecha : 23/01/2006 11:22:25 a.m. Modulo : 5026HD Num. 863

Configuración
ORIGEN
 Cable : 1 Extrem. : CNT Coef. retrodispersion : -82,50 dB
 Fibra : 04 Lambda (nm) : 1550 Umbrales de pérdidas : No (H-M)
EXTREMO Impulso (ns) : 20 Umbrales de pendientes : 0,000 dB/km
 Cable : 1 Rango (km) : 5,077 Umbrales de reflectancias Todo (H-M)
 Fibra : 04 Promed. : 15
 Dirección : O->E Resolución : -
 Origen : CCS

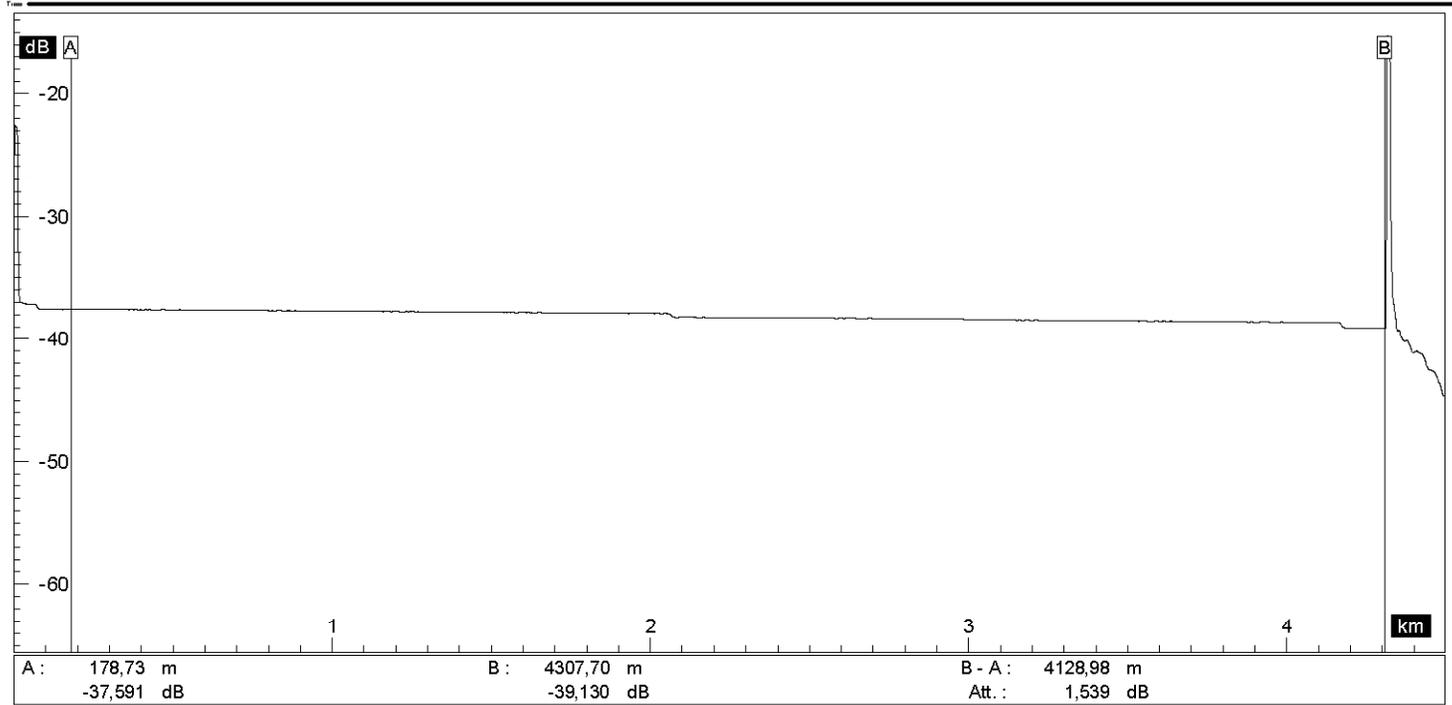


Evento (1)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Presupuesto (dB)
1			16,68			

Archivo : cnt_chg_07.wtk OTDR : MTS 5100 Num. 903
 Fecha : 24/01/2006 09:55:51 a.m. Modulo : 5026HD Num. 863

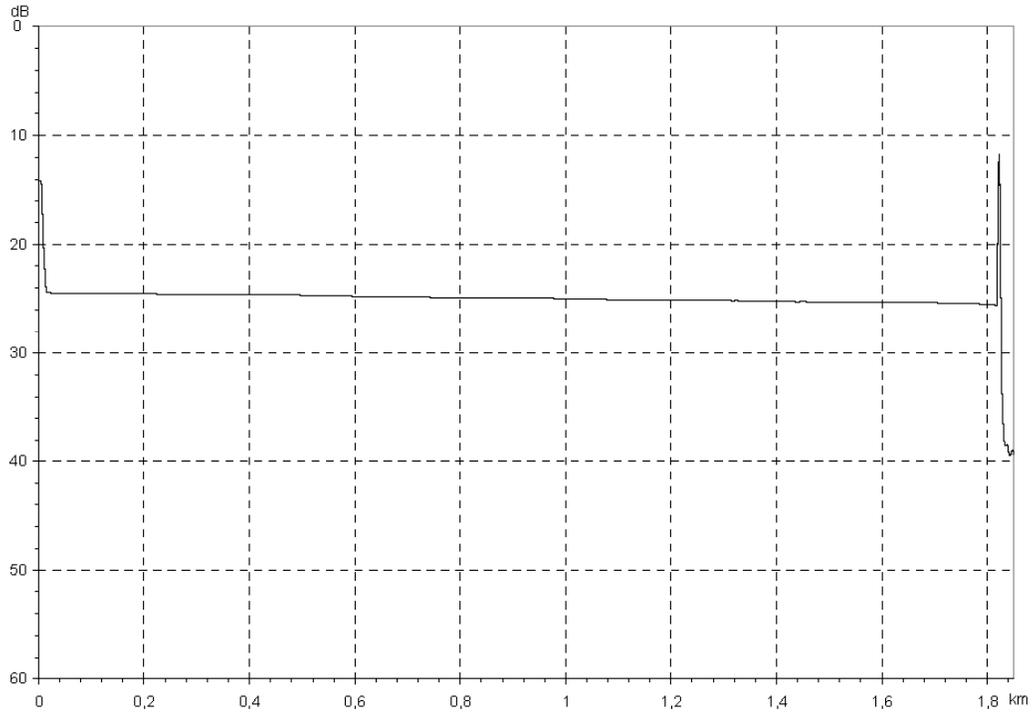
Configuración

ORIGEN	Extrem. :	CHG	Coef. retrodispersion :	-82,50 dB
Cable :	Lambda (nm) :	1550	Umbrales de pérdidas :	No (H-M)
Fibra :	Indice :	1,476100	Umbrales de pendientes :	0,000 dB/km
EXTREMO	Impulso (ns) :	100	Umbrales de reflectancias :	Todo (H-M)
Cable :	Rango (km) :	10		
Fibra :	Promed. :	15		
Dirección :	Résolución :	-		
Origen :				



Evento (1)	Distancia (m)	Atenuación (dB)	Reflectancia (dB)	Pendiente (dB/km)	Dist.rel. (m)	Presupuesto (dB)
1			18,18			

chg_ngr_17.sor

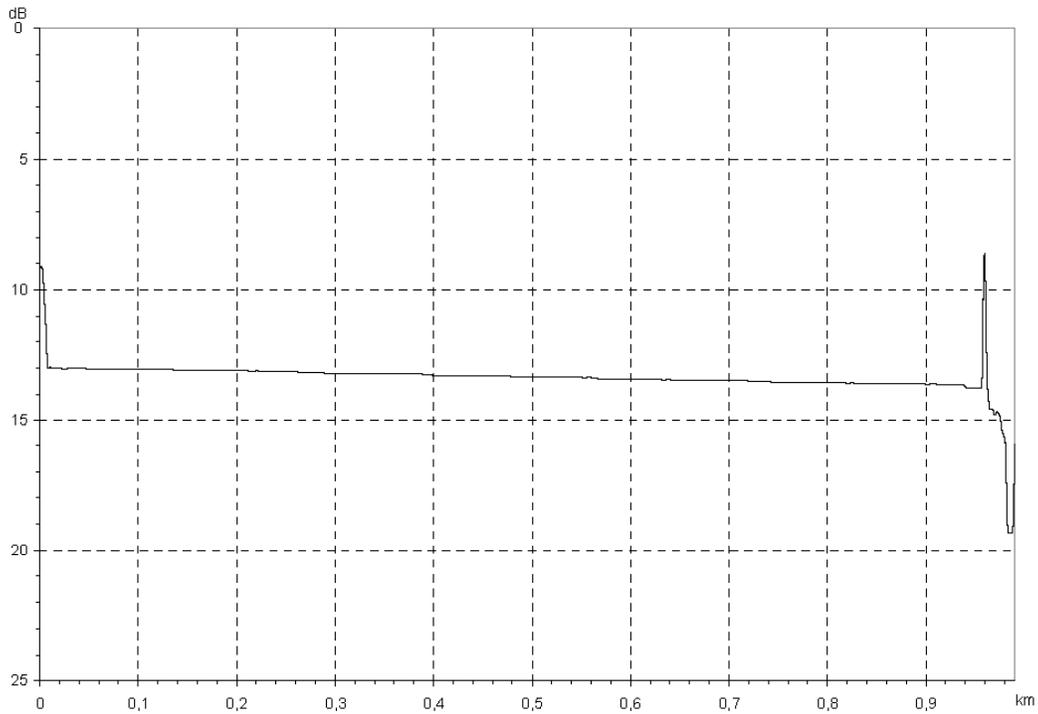


Language: SP
Cable ID: 1
Fiber ID: 17
Wavelength: 1550
Org. Loc: CHG
Term. Loc: NGR
Cable Code:
Condition: BC
Operator: THAIS
Comment:
Supplier: Anritsu
OTDR Model: MU250000A
S/N: 6200048868
Optics Mod: MW9076B
S/N: 6200048868
S/W Rev.: 2.1
Other:

Traza ppal: chg_ngr_17.sor
Fecha: 25/01/06
Hora: 09:01 AM
Producto: MU250000A
Módulo óptico: MW9076B
Tipo de fibra: Monomodo
Umbrales FAS:
Pérdida: 0.3 dB/km
Reflectancia: -22 dB
Retrodispersión: -82.50 dB

Rango: 5 km
Resolución: 2 m
Ancho de imp: 100 ns
Índice: 1.476100
Log onda: 1550 nm
Despl hor: 0.0000 km
Despl vert: 0.00 dB
Nº medias: 15

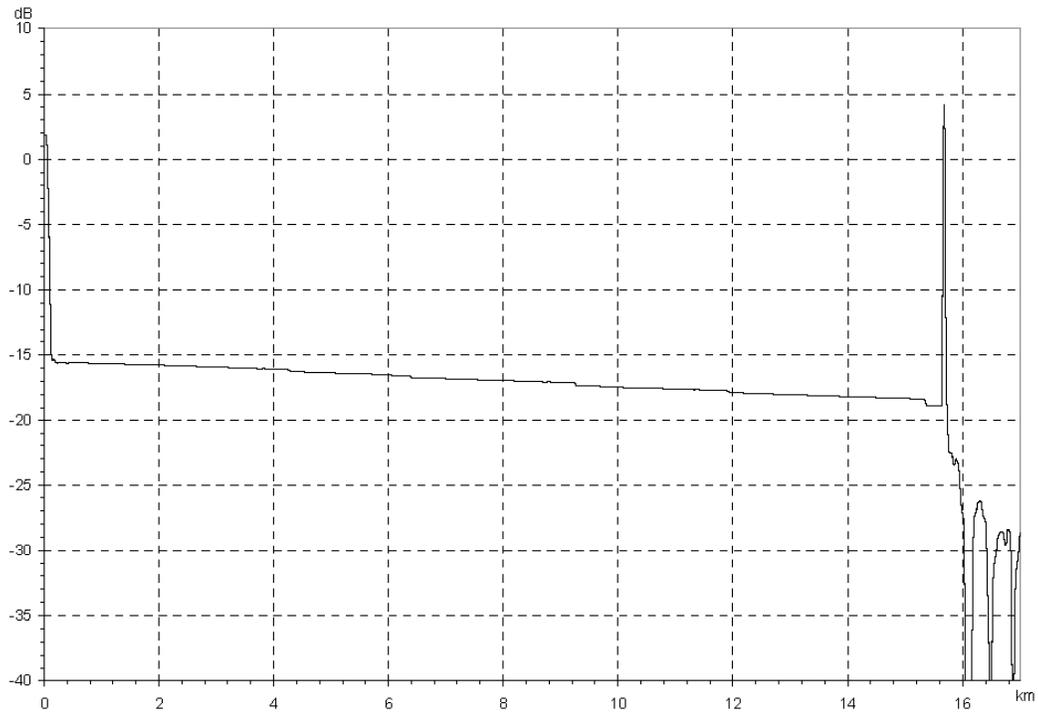
ngr_pma_01.sor



Language: SP
Cable ID: 1
Fiber ID: 01
Wavelength: 1550
Org. Loc: NGR
Term. Loc: PMA
Cable Code:
Condition: BC
Operator: THAIS
Comment:
Supplier: Anritsu
OTDR Model: MU250000A
S/N: 6200048868
Optics Mod: MW9076B
S/N: 6200048868
S/W Rev.: 2.1
Other:

Traza ppal: ngr_pma_01.sor
Fecha: 26/01/06
Hora: 09:20 AM
Producto: MU250000A
Módulo óptico: MW9076B
Tipo de fibra: Monomodo
Umbral FAS:
Pérdida: 0.37 dB/km
Reflectancia: -4,5 dB
Retrodispersión: -82 dB
Rango: 5 km
Resolución: 2 m
Ancho de imp: 100 ns
Índice: 1.476100
Log onda: 1550 nm
Despl hor: 0.0000 km
Despl vert: 0.00 dB
Nº medias: 15

pdm_cco_07.sor



Language: SP
Cable ID: 1
Fiber ID: 07
Wavelength: 1550
Org. Loc: PDM
Term. Loc: CCO
Cable Code:
Condition: BC
Operator: JOSELUI
Comment:
Supplier: Anritsu
OTDR Model: MU250000A
S/N: 6200048868
Optics Mod: MW9076B
S/N: 6200048868
S/W Rev.: 2.1
Other:

Traza ppal: pdm_cco_07.sor
Fecha: 27/01/06
Hora: 03:25 PM
Producto: MU250000A
Módulo óptico: MW9076B
Tipo de fibra: Monomodo
Umbrales FAS:
Pérdida: 0.27 dB/km
Reflectancia: -13 dB
Retrodispersión: -82.50 dB

Rango: 20 km
Resolución: 5 m
Ancho de imp: 100 ns
Índice: 1.476100
Log onda: 1550 nm
Despl hor: 0.0000 km
Despl vert: 0.00 dB
Nº medias: 15