



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

**“ANÁLISIS Y DISEÑO PARA LA
INSERCIÓN DE UN NODO
CONCENTRADOR EN UNA RED SDH”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

PRESENTAN:
**FERNANDO ISRAEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ
JONATHÁN LÓPEZ GÓMEZ**

ASESOR: ING. MARIANO ARUMIR RIVAS



MINERAL DE LA REFORMA, HGO

2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA
Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

OFICIO EYT/396/14

P.D.I.E.T. FERNANDO ISRAEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ
P.D.I.E.T. JONATHAN LÓPEZ GÓMEZ

PRESENTE

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado al trabajo de titulación “ANÁLISIS Y DISEÑO PARA LA INSERCIÓN DE UN NODO CONCENTRADOR EN UNA RED SDH” y que después de revisarlo en reunión de sinodales, han desistido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado.

PRESIDENTE:	Ing. Emmanuel Gutiérrez Rojas.
PRIMER VOCAL:	Ing. Mariano Arumir Rivas
SEGUNDO VOCAL:	M. en C. Elías Varela Paz
TERCER VOCAL:	Ing. Mauricio Hernández Castillo
SECRETARIO:	Ing. Claudio Iván Durán Marroquín
PRIMER SUPLENTE:	Ing. Osvaldo Yanick Avendaño Ugarte
SEGUNDO SUPLENTE:	Ing. Iván Erick Aguilar Castillo

Sin otro particular, le reitero a usted la seguridad y mi atenta consideración.

ATENTAMENTE.
“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”
Mineral de la Reforma, Hidalgo, a 11 de Noviembre de 2014.

Ing. Emmanuel Gutiérrez Rojas
Coordinador de la Licenciatura en Ing. en Electrónica y Telecomunicaciones

C.c.p. Archivo



Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Carretera Pachuca - Tulancingo Km. 4.5, Ciudad Universitaria,
Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184
Tel. +52 771 7172000 ext. 6320
grojas@uach.edu.mx



DEDICATORIA

A mis padres quienes gracias a su esfuerzo y dedicación han hecho de mí la persona que hoy en día soy y me han dado la más grande herencia que se le puede dar a un hijo, la educación.

Ingeniería

A mi esposa que ha sido pieza fundamental en mi vida y testigo de mi formación académica y profesional.

A mis hijos que han sido la fuerza que me ha motivado para cerrar este pendiente en mi vida

A mis hermanas que me han brindado apoyo total en todo momento.

FERNANDO ISRAEL SANCHEZ GONZALEZ

DEDICATORIA

A mis padres con todo mi cariño y amor quienes han hecho todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños.

A ti Fabi que has sido mi compañera en esta aventura a la que llamamos vida.

A mi hija ERICKA que ha sido la principal motivación, aliento, y energía para culminar mi formación académica y dejarle como ejemplo que en la vida se deben de cerrar ciclos.

A mis hermanos que han brindado toda su ayuda

JONATHÁN LÓPEZ GÓMEZ

ÍNDICE DE CONTENIDO

Objetivo General	I
Justificación	II
Introducción	IV
1. Principios básicos de Telecomunicaciones	
1.1. Antecedentes históricos de las comunicaciones	1
1.2. Partes de un sistema de comunicación	2
1.3. Tipos de sistemas de comunicación	3
1.3.1. Sistemas de radiocomunicación	3
1.3.2. Sistemas de comunicación por cable	4
1.3.3. Sistemas de comunicación por fibra óptica	5
1.4. Transmisión de datos	6
1.4.1. Señales analógicas y digitales	7
1.4.2. Digitalización de señales analógicas	9
1.4.2.1. Muestreo	9
1.4.2.1.1. Teorema de Nyquist	10
1.4.2.2. Cuantización	10
1.4.2.3. Codificación	12
1.5. Multiplexaje	12
1.5.1. Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)	13
2. Fibra óptica	
2.1. Antecedentes históricos de la fibra óptica	16
2.2. Fibra óptica	18
2.3. Tipos de fibra óptica	18
2.3.1. Fibra multimodo	19
2.3.1.1. Fibra multimodo de índice abrupto	19

2.3.1.2. Fibra multimodo de índice gradual	20
2.3.2. Fibra monomodo	21
2.3.3. Comparación entre fibras multimodo y monomodo	21
2.4. Características técnicas de la fibra óptica	22
2.5. Propagación de la luz en la fibra óptica	24
2.5.1. Ley de Snell	26
2.6. Características de transmisión de la fibra	28
2.7. Componentes de atenuación en la fibra óptica	29
2.7.1. Dispersión Rayleigh	30
2.7.2. Absorción molecular	31
2.8. Características mecánicas de la fibra óptica	31
2.9. Fabricación de la fibra óptica	32
2.9.1. Proceso de deposición de vapor químico modificado (MCVD)	33
2.9.2. Proceso de doble crisol	33
2.10. Usos de la fibra óptica	34
2.11. Ventajas y desventajas de la fibra óptica	37
2.12. Tipos de cable de fibra óptica	38
2.13. Código de colores	40
2.14. Elementos y accesorios para instalaciones de fibra óptica	41
2.14.1. Conectores	41
2.14.1.1. Pulido	42
2.14.2. Jumpers	43
2.14.3 Acopladores	44
2.14.4. Atenuadores	44
2.15. Instrumentos de medición y mantenimiento para redes de fibra óptica	45
2.15.1. OTDR	45
2.15.2. Medidor de potencia óptica	47
2.15.3. Fuente de luz	47
2.15.4. Pulidor	48
2.15.5. Empalmadora	48

2.15.5.1. Empalmes	49
3. PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)	
3.1. Concepto	50
3.2. Antecedentes históricos	51
3.3. Infraestructura PDH	51
3.4. Estándares de transmisión en PDH	52
3.4.1. Estándar Europeo	52
3.4.2. Estándar Americano	53
3.5 Desventajas de la tecnología PDH	54
3.6 Compensación en fase y frecuencia de señales plesióncronas	55
3.7 Protocolo E1	58
4. SDH (Synchronous Digital Hierarchy)	
4.1. Concepto	60
4.2. Antecedentes históricos	61
4.3. La trama SDH	62
4.3.1. Estándar de transmisión en SDH	62
4.3.2. La trama STM-1	62
4.4. Mapeo de señales	64
4.4.1. Unidad Tributaria (TU)	66
4.4.2. Unidad Administrativa (AU-4)	67
4.4.3. Jerarquía de multiplexaje en SDH	67
4.5. Alineación de señales (apuntadores)	68
4.5.1. Apuntador AU-4	69
4.5.2. Apuntador TU	71
4.6. Encabezados de sección (SOH)	72
4.6.1. Bytes de encabezado de la sección de regeneración (RSOH)	73
4.6.1.1. Bytes A1, A2 - Inicio de Trama	74
4.6.1.2. Byte J0 - Section Trace (identificador de fuente)	74
4.6.1.3. Byte Z0	75

4.6.1.4. Byte B1 - Paridad de entrelazado de bit (BIP-8)	75
4.6.1.5. Byte E1 - Order Wire	76
4.6.1.6. Byte F1 - Canal de usuraio	76
4.6.1.7. Bytes D1-D3 - RSOH DCC	77
4.6.2. Bytes de encabezado de la sección de multiplexaje (MSOH)	77
4.6.2.1. Byte B2 – Paridad de entrelazado de bit (BIP-24)	78
4.6.2.2. Bytes K1, K2 – Señalización MSP	78
4.6.2.3. Bytes D4-D12 – MSOH DCC	79
4.6.2.4. Byte S1 – MSOH SSM	80
4.6.2.5. Byte M1 – MS-REI	80
4.6.2.6. Byte E2 – Order Wire	81
4.7. Señales de mantenimiento SDH	82
4.7.1. LOS (loss of signal)	85
4.7.2. OOF (out of frame)	85
4.7.3. LOF (loss of frame)	86
4.7.4. LOP (loss of pointer)	86
4.7.5. AIS (alarm indication signal)	86
4.7.6. REI (remote error indication)	87
4.7.7. RDI (remote defect indication)	87
4.7.8. RFI (remote failure indication)	87
4.8. Ventajas de la tecnología SDH	88

5. Redes SDH de transporte

5.1. Introducción	89
5.2. Elementos de una red SDH	90
5.2.1. Regenerado (REG)	90
5.2.2. Multiplexor Terminal (TM)	91
5.2.3. Add and Drop Multiplexer (ADM)	92
5.2.4. Cross-Conector (DXC)	94
5.3. Topologías de red	95
5.3.1. Topología punto a punto	96

5.3.2. Topología en cadena	96
5.3.3. Topología en anillo	97
5.3.4. Topología en malla	97
5.4. Tipos de conexiones	98
5.5 Esquemas de protección	99
5.5.1. Protección de línea de la sección de multiplexaje (MSP)	100
5.5.1.1. Protección MSP 1+1	101
5.5.1.2. Protección MSP 1:N	101
5.5.2. Protección de trayecto VC dedicado	102
5.5.2.1. Protección de conexión de subred (SNC-P)	103
5.5.2.1.1. Monitoreo Inherente (SNC/I)	104
5.5.2.1.2. Monitoreo No Intrusito (SNC/N)	105
5.5.2.2. Protección MS-Spring	106
5.6. Aplicaciones de redes SDH	108
6. Diseño e implementación del proyecto	
6.1. Introducción	110
6.2. Antecedentes	111
6.3. Topología de Red	111
6.4. Problemática	114
6.5. Propuestas para optimizar la capacidad de la red	116
6.5.1. Apertura de nuevos anillos de acceso	116
6.5.2. Inserción de un nodo concentrador	119
6.6. Situación actual de la red	121
6.7. Diseño del proyecto	123
6.7.1. Análisis de tráfico y elección de un site	124
6.7.2. Aprovechamiento interno y externo del site	127
6.7.3. Desvío de tráfico	132
6.7.4. Concentración de anillos lógicos de acceso	135
6.8. Costos de la implementación	142

Conclusiones	143
Bibliografía	145
Apéndices	
A: Glosario de términos	A.1
B: Cotizaciones	B.1
C: Especificaciones técnicas	C.1

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Diagrama de bloques de un sistema de comunicación	2
1.2	Sistema de comunicación	3
1.3	Sistema de radiocomunicación	4
1.4	Sistema de comunicación por cable eléctrico	5
1.5	Sistema de comunicación por fibra óptica	6
1.6	Señal analógica	8
1.7	Señal digital	8
1.8	Muestreo de una señal	10
1.9	Cuantización de una señal	11
1.10	Codificación de una señal	12
1.11	Enlace entre dos multiplexores	13
1.12	Multiplexaje por división de tiempo	14
1.13	Multiplexor Terminal	14
1.14	Configuración “chain” de multiplexores (Add and Drop Multiplexer)	15
1.15	ADM en full duplex	15
1.16	Patrón de bits de alineación en una trama TDM	15
2.1	Fibra multimodo de índice abrupto	20
2.2	Fibra multimodo de índice gradual	20
2.3	Fibra monomodo	21
2.4	Comparación técnica entre tipos de fibra óptica	22
2.5	Partes de una fibra óptica	23
2.6	Propagación de la luz en la fibra óptica	25
2.7	Refracción total	25
2.8	Ley de Snell	27
2.9	Índices de refracción de acuerdo a la densidad del material	27
2.10	Ventanas de operación de la fibra óptica	28
2.11	Cable de fibra óptica	29
2.12	Dispersión Rayleigh	30

2.13	Cable de fibra óptica multitubo con guía de acero	39
2.14	Diagrama del cable de fibra óptica multitubo con guía de acero	39
2.15	Cable de fibra óptica multitubo sin guía de acero	39
2.16	Cable de fibra óptica unitubo	40
2.17	Cable de fibra óptica unitubo con carcasa	40
2.18	Código de colores de fibra óptica	41
2.19	Conectores para fibra óptica	42
2.20	Tipos de pulido para conectores	43
2.21	Tipos de jumper	43
2.22	Tipos de acopladores	44
2.23	Tipos de atenuadores	45
2.24	OTDR	46
2.25	Medidor de potencia óptica	47
2.26	Fuente de luz	47
2.27	Pulidor	48
2.28	Empalmadora	48
3.1	Jerarquía de multiplexaje en el Estándar Europeo de transmisión en PDH	53
3.2	Jerarquía de multiplexaje en el Estándar Americano de transmisión en PDH	53
3.3	Compensación en fase y frecuencia de señales plesiócronicas	56
3.4	Deslizamientos de bits (slips) en TDM	56
3.5	Bites perdidos en TDM	57
3.6	Proceso bit stuffing en TDM	57
3.7	Trama E1	58
4.1	Trama STM-1	63
4.2	Secciones de la trama STM-1	64
4.3	Mapeo de señales tributarias en la trama STM-1	64
4.4	Mapeo de una señal tributaria en un Contenedor	65

4.5	Contenedor Virtual	66
4.6	Unidad Tributaria	67
4.7	Unidad Administrativa	67
4.8	Jerarquía de multiplexaje en SDH	68
4.9	Apuntador AU-4	69
4.10	Bytes de apuntador AU-4	70
4.11	Justificación positiva	70
4.12	Justificación negativa	71
4.13	Multitrama TU	72
4.14	Encabezados de sección de la trama STM-1	73
4.15	Sección de regeneración	73
4.16	Evaluación del valor JO recibido comparándolo con un valor esperado	74
4.17	Verificación de B1	75
4.18	Transmisión SDH con verificación de paridad	75
4.19	RS Canal orderwire	76
4.20	Canal de usuario	76
4.21	RS DCC	77
4.22	Sección de multiplexaje	77
4.23	Señalización MSP	78
4.24	Descripción de los bites del byte K1, K2	79
4.25	MS DCC	79
4.26	S1 mensaje de status de sincronía	80
4.27	Indicación de error remoto	81
4.28	MS orderwire	81
4.29	Señales de mantenimiento	83
5.1	Regenerador	90
5.2	Multiplexor Terminal	91
5.3	Enlace básico SDH con TM y REG	91
5.4	Multiplexor de Inserción y derivación	92

5.5	Configuración interna de un ADM	93
5.6	Configuración interna de ruta de trabajo de un ADM	93
5.7	Configuración interna de ruta de protección de un ADM	94
5.8	Cross-conector	94
5.9	Topología punto a punto	96
5.10	Topología en cadena	96
5.11	Topología en anillo	97
5.12	Topología en malla	98
5.13	Protección MSP 1+1	101
5.14	Protección MSP 1:N	102
5.15	Protección SNC en condiciones normales	106
5.16	Protección SNC en condiciones de falla	106
5.17	Protección MS-Spring	107
6.1	Topología de red	113
6.2	Topología de red con apertura de nuevos anillos de acceso	117
6.3	Topología de red con nodo concentrador	119
6.4	Esquema general de red	121
6.5	Infraestructura de red	122
6.6	Diagrama de caja de empalmes	123
6.7	Topología de anillo de acceso	123
6.8	Distribución física de los usuarios finales en la red	125
6.9	Trayectoria de fibra óptica en la zona Polanco	126
6.10	Ubicación del predio que alojará al site	127
6.11	Canaleta para fibra óptica	128
6.12	Escalerilla para cableado de datos	128
6.13	Rack de 19"	129
6.14	ODF FC/FC 96 posiciones	130
6.15	Banco de baterías	130
6.16	Distribución de equipos en racks	131
6.17	Trayectoria de acometidas al site	132

6.18	Interconexión de ODF's	133
6.19	Empalmes entre acometida y ODF	133
6.20	Diagrama de empalmes actual	134
6.21	Diagrama de empalmes esperado	134
6.22	Matriz de cross-conexión	135
6.23	Topología de red esperada	136
6.24	Partes de equipo XDM-1000	137
6.25	Distribución de tarjetas en equipo XDM-1000	138
6.26	Conexión de anillos a concentrar	139
6.27	Primer fase de concentración de anillos	139
6.28	Segunda fase de concentración de anillos	140
6.29	Topología de configuración de servicios actual	140
6.30	Topología de configuración de servicios esperada	141

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Estándar Europeo de transmisión en PDH	52
3.2	Estándar Americano de transmisión en PDH	53
4.1	Estándar de transmisión en SDH	62
4.2	Jerarquía de Contenedores	65
4.3	Jerarquía de Contenedores Virtuales	66
6.1	Distribución de tráfico actual en los anillos lógicos de acceso	124
6.2	Tarjetas principales de equipos XDM-1000	137

Objetivo General

Realizar el diseño para la inserción de un nodo concentrador en una red metropolitana de fibra óptica propiedad de una empresa, la cual está basada en la Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy); con ello duplicar la capacidad de la misma y así satisfacer las necesidades de dicha empresa para activación de nuevos servicios ofrecidos a sus clientes.

Justificación

Hoy en día las redes basadas en fibra óptica son demandadas en el mercado de las Telecomunicaciones debido a las bondades con que cuenta ésta. Con la necesidad de cubrir las exigencias de los clientes y para explotar al máximo la fibra óptica surge la Jerarquía Digital Síncrona conocida como SDH (Synchronous Digital Hierarchy), la cual tiene como principio fundamental la sincronía en todos los nodos de la red.

Las redes SDH aplicadas al transporte de información crítica han acaparado gran parte del mercado de las Telecomunicaciones en el mundo. Las zonas metropolitanas son ideales para la creación de dichas redes, por lo que en la actualidad es común encontrar empresas que se dediquen a vender este tipo de servicios en las principales ciudades de la República Mexicana.

A finales de los años 90, una empresa decide crear una red de fibra óptica soportada por tecnología SDH en las principales zonas corporativas del D.F. y zona norte del Estado de México. Debido a la calidad y alta disponibilidad de sus servicios, se ha convertido en la solución para transporte de información crítica de los principales carriers en ésta zona.

La red es bastante dinámica y día con día se activan nuevos servicios lo que la ha convertido poco a poco en una red compleja, misma razón que ha saturado la capacidad de sus anillos, por tal motivo las operaciones de activación se ven frenadas y se reflejan en su nivel de ingresos monetarios.

Las razones expuestas anteriormente justifican la realización del presente trabajo, por medio del cual se pretende liberar capacidad en los anillos de la red de la empresa en cuestión mediante la inserción de un nodo concentrador.

Dicho nodo se implementará en un punto central de la red concentrando los servicios de cada anillo y enviándolos a los nodos principales de la red por medio de anillos de concentración en los cuales no hay equipos intermedios, liberando así capacidad en los mismos. Esta propuesta es una solución a las necesidades de la empresa y la analizaremos a detalle en el Capítulo 6 del presente trabajo.

Introducción

Hoy en día las redes de telecomunicaciones se han convertido en un factor importante en la vida del ser humano, ya que hacemos uso de éstas en cualquier momento de nuestra vida diaria, por ejemplo: cuando enviamos un correo, en aplicaciones de mensajería instantánea, acceso a Internet, servicios de televisión por cable, telefonía, faxes, VoIP, HDTV, etc. Cada tipo de red tiene sus propios protocolos, estándares de transmisión y define qué servicios o tecnologías soporta.

En la actualidad las redes de telecomunicaciones se cotizan debido a su velocidad de transferencia de información, este factor depende del medio de transmisión en el cual esta basada su infraestructura. Las redes de alta velocidad tienen como medio de transmisión la fibra óptica, la cual ofrece rapidez y seguridad en la transferencia de información, mismas necesidades que busca satisfacer un usuario.

A finales de los años 90, entró a México la tecnología SDH por sus siglas en inglés Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Síncrona); es una tecnología basada en fibra óptica y aplicada en el transporte de información. Su efectividad ha tenido gran impacto en el medio de las Telecomunicaciones y sus resultados han logrado satisfacer las necesidades de los exigentes usuarios que ahora gozan de los beneficios de ésta.

Las empresas que apostaron en aquel momento a crear una red de fibra óptica con la tecnología SDH han crecido potencialmente debido a la gran demanda de servicios de transporte que hay en estos días.

El presente trabajo proporciona las herramientas necesarias para entender el funcionamiento de las redes metropolitanas de transporte de información crítica basadas en fibra óptica y tecnología SDH, así mismo, contiene el diseño para la inserción de un nodo concentrador que pretende liberar capacidad en una red de este tipo y generar beneficios a la empresa propietaria de la red.

En el capítulo uno se expone los principios básicos de las Telecomunicaciones, con el fin de conocer como nacen las mismas, los sistemas de comunicación existentes y el proceso de digitalización de señales analógicas; que nos ayudará a la comprensión de nuestro caso de estudio.

En el capítulo dos se abordará el concepto y tipos de fibra óptica, que es el medio de transmisión utilizado en la infraestructura de las redes de alta velocidad en la actualidad; así como los elementos, accesorios y equipos necesarios en la creación y mantenimiento de una red de fibra óptica.

En el capítulo tres se ofrece una revisión a la tecnología PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), así como los estándares de transmisión de la misma para poder entender el proceso de multiplexaje de señales no sincronizadas.

En el capítulo cuatro se estudiará en plenitud la tecnología SDH, la cuál es el punto central de este trabajo. Se hará ver al lector la flexibilidad que ofrece SDH para transmitir varias señales plesiócronicas (PDH) por un mismo medio de transmisión sin necesidad de repetidas etapas de multiplexaje, debido a que la sincronía es de vital importancia en las redes basadas en dicha tecnología.

Posteriormente, en el capítulo cinco se darán a conocer los elementos que conforman una red SDH y los criterios a tomar en cuenta para la creación de este tipo de redes, tales como: esquemas de protección de tráfico, sincronización y gestión. Además de hacer ver al lector la importancia de contar

con un NOC (Network Operation Center) y comprender la funcionalidad del mismo para el bienestar de la red.

Y finalmente en el capítulo cinco se hará el diseño para la inserción de un nodo concentrador en una red SDH propiedad de una empresa; mediante el cual se pretende cubrir las necesidades de falta de capacidad en la red, propuestas por dicha empresa.

Al término de éste trabajo, se exponen las conclusiones sobre los resultados obtenidos, así como el impacto que se tendrá en la red y en los ingresos de la empresa después de la puesta en marcha de este proyecto.

Adicional a lo anterior, se incluye la bibliografía que sirvió de base para el sustento de la información presentada en este trabajo escrito. Aunado a ello y como un aspecto muy importante se agrega un glosario de términos desconocidos por el lector para hacer entendible este trabajo y no complicar la lectura al mismo. Teniendo como objetivo que puedan ser consultados en cualquier momento que se requiera como una referencia rápida. Además se agregan algunas fichas técnicas de los equipos y accesorios utilizados en este proyecto.

Capítulo 1

Principios básicos de Telecomunicaciones

1.1 Antecedentes históricos de las comunicaciones

El hombre en su afán de comunicarse entre sí ha llegado a buscar diversas maneras, partiendo de los signos o gestos de los hombres prehistóricos a obtener un lenguaje hablado. Más adelante tuvo necesidad de poder expandir su comunicación en su entorno geográfico utilizando las señales de humo, destellos de espejos, señales de bandera todos con un fin en común y que cubrieron y aún cubren necesidades de la época.

Con el paso del tiempo y el avance tecnológico llegaron las innovaciones, el código Morse, a través de un telégrafo por medios de cables permitieron comunicaciones a grandes distancias y en segundos. Posteriormente se ideó alguna manera de poder transmitir la voz a grandes distancias y así nació el teléfono. Más tarde aparecieron las comunicaciones por radio, luego la transmisión de imágenes a través de la televisión. En los 60, comienza la era informática y con ella la idea de interconectar varias computadoras entre sí, lo que esto se hace realidad en la década de los 70. Hoy en día las redes de

comunicaciones han tenido tal demanda que existen redes complejas y de alta velocidad que interconectan incluso continentes.¹

1.2 Partes de un sistema de comunicación

El objetivo principal de las comunicaciones es intercambiar información entre dos entidades. Sus partes principales son:

- La fuente; este es el dispositivo que genera los datos a transmitir.
- El transmisor; en el que normalmente los datos generados no son transmitidos así como son generados. El transmisor transforma y codifica la información produciendo señales electromagnéticas para ser transmitidas a través de algún sistema de transmisión.
- El sistema de transmisión; que puede ser un cable desde una simple línea de transmisión hasta una compleja red que conecte la fuente con el destino.
- El receptor; que acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la convierte de tal manera que pueda ser manejada por el dispositivo destino
- El destino; que toma los datos del receptor.

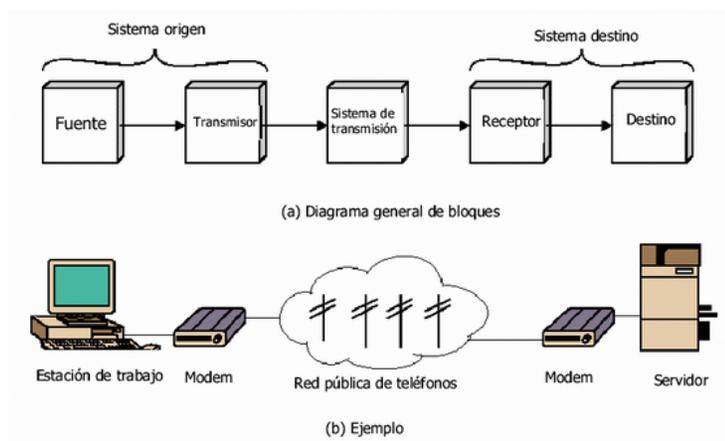


Fig. 1.1 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación

¹ <http://www.fortunecity.es/imaginapoder/artes/368/escuela/telecom/telecomunicacion.htm>

En un sistema de comunicación el transmisor genera la información que se desea enviar, la fuente de información puede ser cualquier transductor, la señal que contiene la información puede ser analógica o digital. Los sistemas se pueden clasificar de acuerdo a la señal en: analógicos o digitales, en banda base o modulado; o de acuerdo al medio de transmisión: por cable eléctrico, por fibras ópticas y de radiocomunicación.

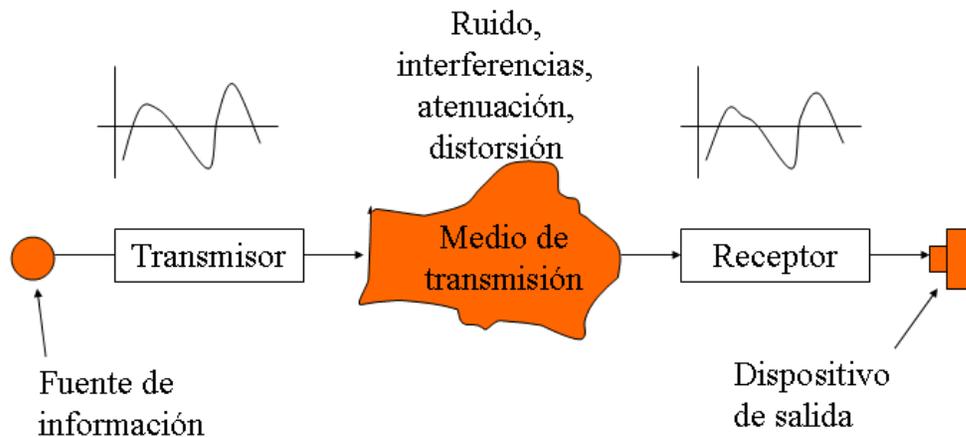


Fig. 1.2 Sistema de comunicación

1.3 Tipos de sistemas de comunicación

Existen diversos sistemas de comunicación, como son:

- sistemas de radiocomunicación.
- sistemas de comunicación por cable.
- sistemas de comunicación por fibra óptica.

1.3.1 Sistemas de radiocomunicación

Los sistemas de radiocomunicaciones emplean el espacio como medio de transmisión, la información viaja en forma de ondas no guiadas. Se requiere de

un transductor (antena) que convierta la energía eléctrica en señales electromagnéticas no guiadas y viceversa. Algunas de sus limitaciones son:

- susceptibilidad a interferencias electromagnéticas
- espectro electromagnético limitado
- pequeña privacidad
- dependencia de condiciones ambientales

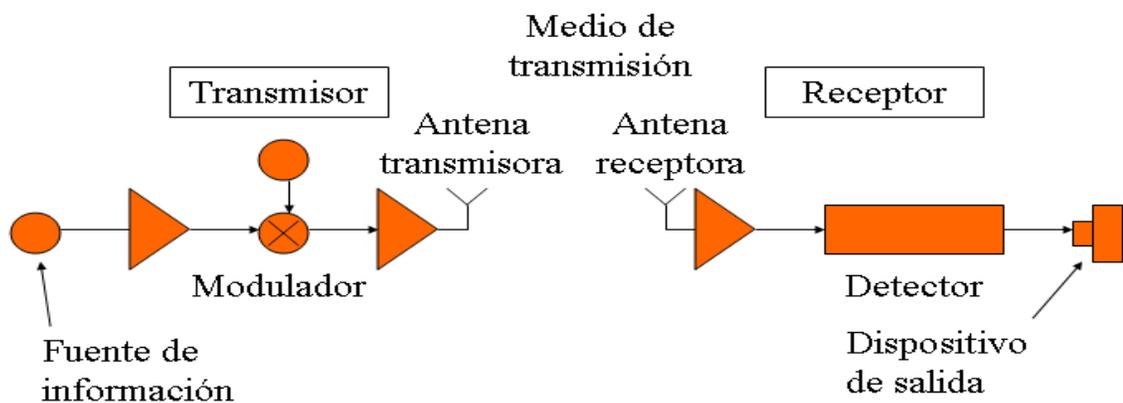


Fig. 1.3 Sistema de radiocomunicación

1.3.2 Sistemas de comunicación por cable

Requieren de un medio físico como medio de transmisión y éste debe conducir la electricidad, por ejemplo, par de alambres, cable coaxial, guía de onda, etc. Algunas de sus limitaciones son:

- mayor susceptibilidad a interferencias
- dificultad de emplearlos en medios corrosivos
- problemas de diafonía
- problemas de bucle de tierra
- mayor privacidad que los sistemas de radio, pero no lo suficiente
- sensibilidad al medio ambiente

- baja capacidad para transmitir grandes volúmenes de información

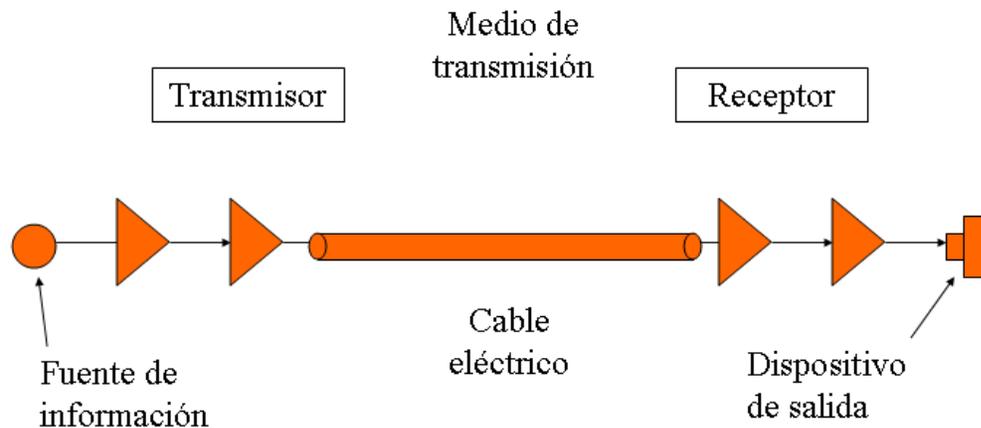


Fig. 1.4 Sistema de comunicación por cable eléctrico

1.3.3 Sistemas de comunicación por fibra óptica

Un sistema optoelectrónico es aquel conjunto de componentes necesarios para formar un sistema de comunicación que emplea como medio básico de comunicación a la fibra óptica. Los bloques principales de un enlace de comunicaciones de fibra óptica son: transmisor, receptor y guía de fibra.

El transmisor consiste de una interfaz analógica o digital, un convertidor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra. La guía de fibra es un vidrio ultra puro o un cable plástico. El receptor incluye un dispositivo conector detector de fibra a luz, un fotodetector, un convertidor de corriente a voltaje, un amplificador de voltaje y una interfaz analógica o digital.

En un transmisor de fibra óptica la fuente de luz se puede modular por una señal análoga o digital acoplando impedancias y limitando la amplitud de la señal o en pulsos digitales. El convertidor de voltaje a corriente sirve como interfaz eléctrica entre los circuitos de entrada y la fuente de luz.

La fuente de luz puede ser un diodo emisor de luz (LED) o un diodo de inyección láser (ILD), la cantidad de luz emitida es proporcional a la corriente de excitación, por lo tanto, el convertidor de voltaje a corriente convierte el voltaje de la señal de entrada en una corriente que se usa para dirigir la fuente de luz.

El dispositivo de acoplamiento del detector de fibra a luz también es un acoplador mecánico. El detector de luz generalmente es un diodo PIN o un APD (fotodiodo de avalancha). Ambos convierten la energía de luz en corriente. En consecuencia, se requiere un convertidor de corriente a voltaje que transforme los cambios en la corriente del detector a cambios de voltaje en la señal de salida.

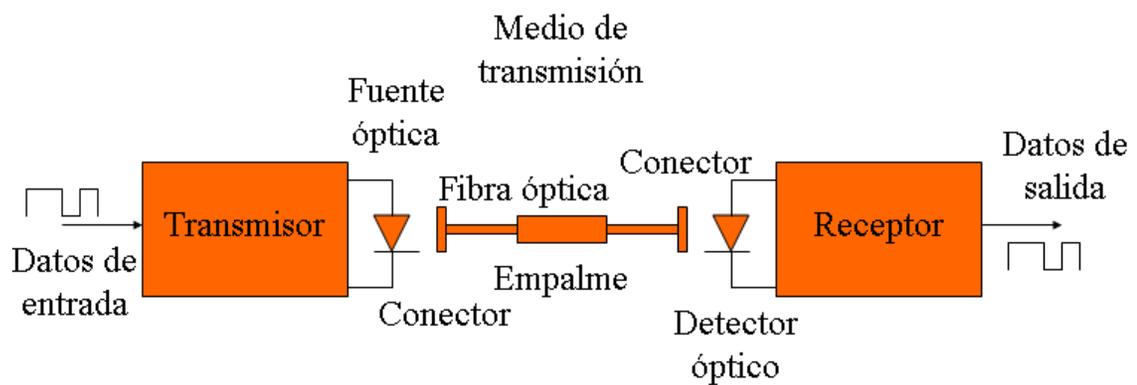


Fig. 1.5 Sistema de comunicación por fibra óptica

1.4 Transmisión de datos

La transmisión de datos entre un emisor y un receptor siempre se realiza a través de un medio de transmisión. Se pueden clasificar como guiados y no guiados. En ambos casos, la comunicación se realiza con ondas electromagnéticas. En los medios guiados, como por ejemplo en los pares trenzados, los cables coaxiales y las fibras ópticas; las ondas se transmiten confinándolas a lo largo del camino físico. Por el contrario, los medios no

guiados proporcionan una forma de transmitir las ondas electromagnéticas pero sin encauzarlas, como por ejemplo, en la propagación a través del aire, el mar o el vacío.

Se debe tener en cuenta la naturaleza de los datos, como se propagan físicamente y que procesamientos o ajustes se necesitan a lo largo del camino para asegurar que los datos que se reciban sean inteligibles.

Para todas estas consideraciones, el punto crucial es si se tratan de entidades digitales o analógicas. En las comunicaciones estos dos términos se usan con frecuencia como caracterización de los siguientes tres conceptos: ²

- Datos: Entidad que transporta información. Las señales son codificaciones eléctricas o electromagnéticas
- Señalización: Es el acto de propagar la señal a través de un medio adecuado
- Transmisión: Es la comunicación de datos, mediante la propagación y el procesamiento de señales.

1.4.1 Señales analógicas y digitales

Una señal es una función de una o más variables físicas que contiene información acerca del comportamiento o la naturaleza de algún fenómeno. Las señales también se pueden definir como funciones de una o más variables que transportan información. Las señales pueden clasificarse como analógicas y digitales.

Una señal analógica es aquella función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo en función del tiempo. ³

² “Transmisión de señales”, Curso de actualización MetroNet, 2007

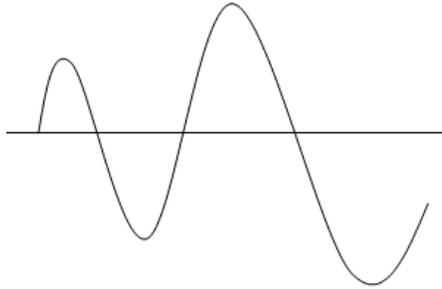


Fig. 1.6 Señal analógica

Ejemplos de fuentes de información analógicas:

- Voz
- Música
- Video

Se dice que una señal es digital cuando las magnitudes de la misma se representan mediante valores discretos.

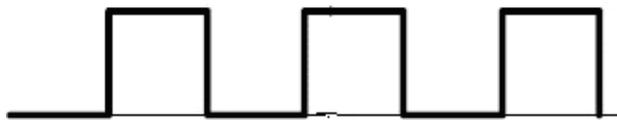


Fig. 1.7 Señal digital

Ejemplos de fuentes de información digitales:

- Datos
- Fotos Digitales
- Video Digital

Muchas veces las señales analógicas son convertidas a un formato digital para poder ser transportadas por medios digitales. Originalmente, la voz era

³ http://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_anal%C3%B3gica

transmitida en forma analógica a través de la red telefónica pública. En la actualidad, una señal de voz se transmite de manera digital por las ventajas que este método ofrece, como son: ⁴

- Muy bajos niveles de ruido (señal nítida).
- Capacidad de transmitir a largas distancias sin degradación ni distorsión de la señal (calidad).
- Capacidad de compresión (uso eficiente de ancho de banda).
- Capacidad de encriptación (seguridad).

1.4.2 Digitalización de señales analógicas

Para poder transmitir una señal analógica a través de un medio digital hay que convertirla a un formato digital en el transmisor, sin embargo, para que el receptor pueda entenderla, hay que convertirla nuevamente a su forma analógica original. Para realizar esa tarea se tienen que efectuar los siguientes procesos:

- Muestreo
- Cuantización
- Codificación

1.4.2.1 Muestreo

Consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda de la señal en cuestión en diferentes puntos de esta. La frecuencia a la que se realiza el muestreo se denomina razón, tasa o también frecuencia de muestreo y se mide

⁴ [http://es.wikipedia.org/wiki/Digital_\(se%C3%B1al\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Digital_(se%C3%B1al))

en kilohertz (kHz). A mayor cantidad de muestras tomadas, mayor calidad tendrá la señal digital resultante. Sin embargo, mientras mayor sea el número de muestras tomadas, mayor será también el ancho de banda necesario para transmitir dicha señal.

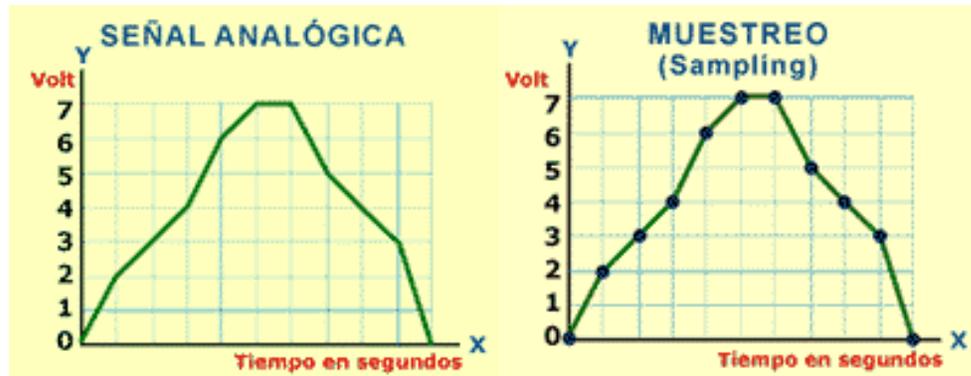


Fig. 1.8 Muestreo de una señal

1.4.2.1.1 Teorema de Nyquist

De acuerdo al teorema de Nyquist, para poder recuperar una señal cuyo ancho de banda es B_s , es necesario realizar un muestreo de la misma a una frecuencia f_m mayor o igual a $2 \cdot B_s$.

$$f_m \geq 2B_s$$

El ancho de banda de la señal de voz es de 4 KHz, por lo tanto, es suficiente utilizar una frecuencia de muestreo $f_m = 8$ KHz. Lo anterior significa que se obtienen 8000 muestras de la señal de voz por segundo.

1.4.2.2 Cuantización

En el proceso de cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las

muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida. Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada.

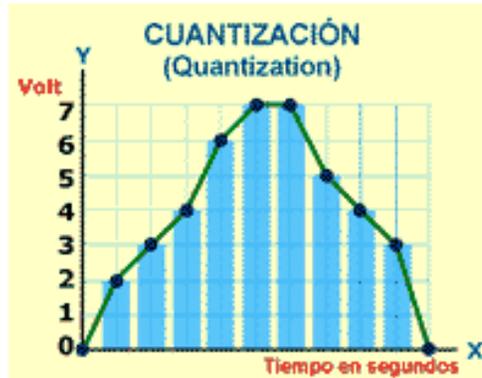


Fig. 1.9 Cuantización de una señal

Una señal analógica es una señal continua, por lo tanto, el conjunto de valores que toma su amplitud en un determinado instante de tiempo es un conjunto infinito de valores. Dado que no es posible transmitir un conjunto infinito de valores a través de un canal digital, es necesario aproximar los valores de la amplitud a un número finito de valores o niveles discretos.

Para cuantizar una señal es necesario definir cuáles son los niveles discretos de amplitud a los que se aproximará dicha señal. Básicamente existen dos formas de cuantización:

- Uniforme. El espaciamiento entre dos niveles discretos contiguos es uniforme (el mismo para todos los casos).
- No uniforme. El espaciamiento entre dos niveles discretos contiguos es distinto.

Para señales de voz se manejan 256 niveles discretos de amplitud los cuales, pueden representarse con un código de 8 bits. Si una señal de voz se muestrea

a una frecuencia de 8000 muestras por segundo y cada muestra se codifica en 8 bits, entonces la velocidad de la señal de voz en forma digital es:

$$\begin{aligned}
 v &= \text{Bits Transmitidos} / \text{Tiempo de transmisión} \\
 &= (8000 \text{ muestras/seg}) * (8 \text{ bits/muestra}) \\
 &= 64 \text{ Kbits/seg}
 \end{aligned}$$

1.4.2.3 Codificación

La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. La codificación permite asignarle valores numéricos binarios equivalentes a los valores de tensiones o voltajes que conforman la señal eléctrica analógica original.⁵



Fig.1.10 Codificación de una señal

1.5 Multiplexaje

Multiplexaje es la combinación de múltiples canales de información en un medio común de transmisión de alta velocidad. Multiplexar la información es la mejor manera de aprovechar la utilización de enlaces de alta velocidad.

⁵ http://www.asifunciona.com/electronica/af_conv_ad/conv_ad_5.htm

Todas las terminales están conectadas a un multiplexor, el cual está conectado a otro multiplexor por medio de un solo enlace. El enlace que existe entre los dos multiplexores tiene la capacidad de transportar múltiples canales de información por separado.

El multiplexor del nodo A multiplexa la información de los dispositivos conectados a él y los transmite por el medio de transmisión de alta velocidad, el multiplexor del nodo B recibe la señal, separa la información de acuerdo a el canal y los envía a los dispositivos correctos.

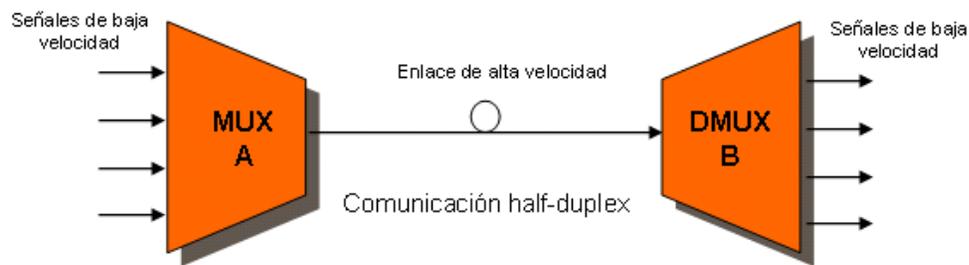


Fig. 1.11 Enlace entre dos multiplexores

El método de multiplexaje más utilizado en la actualidad, especialmente en los sistemas de transmisión digital es el Multiplexaje por División de Tiempo (TDM).

1.5.1 Multiplexaje por División de Tiempo (TDM)

TDM, conocido así por sus siglas en inglés *Time Division Multiplexing*, es una técnica de transmisión que nos permite transmitir un conjunto de señales de baja velocidad sobre un solo canal de alta velocidad. La técnica se basa en dividir la señal de alta velocidad en un número finito de ranuras de tiempo y cada ranura de tiempo es asignada a una determinada señal de baja velocidad.

Pueden crearse varias jerarquías, permitiendo con esto, el crecimiento gradual de una red conforme lo demande su tráfico. Tiene la desventaja de que en caso

de que un canal no sea usado, esa ranura de tiempo no se aprovecha por los otros canales, enviándose en vez de datos bits de relleno.

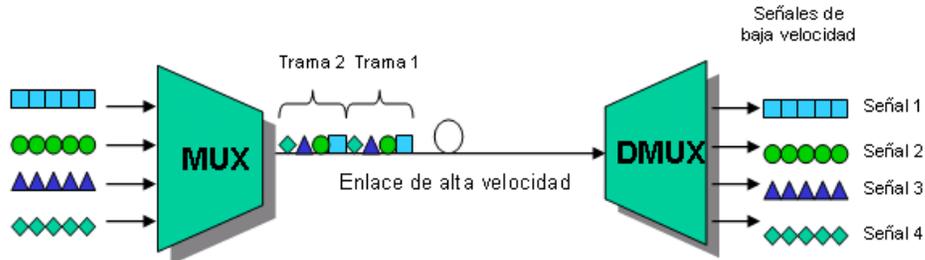


Fig. 1.12 Multiplexaje por división de tiempo

Los multiplexores que utilizan la tecnología TDM son dispositivos digitales que combinan varias señales digitales de dispositivos en un solo medio de transmisión digital. TDM trabaja acomodando los time slots de cada dispositivo conectado a un puerto. Típicamente, el total de rango de bits para todos los dispositivos no puede exceder el rango de bits por segundo de la línea de salida. Esto se logra por medio de técnicas de compresión.

Debido a que la mayoría de las aplicaciones requieren comunicación en full-duplex (en dos sentidos) es conveniente utilizar el concepto de Multiplexor Terminal (TM), que consiste de un arreglo de un MUX y un DMUX tal y como se muestra en la figura 1.13.

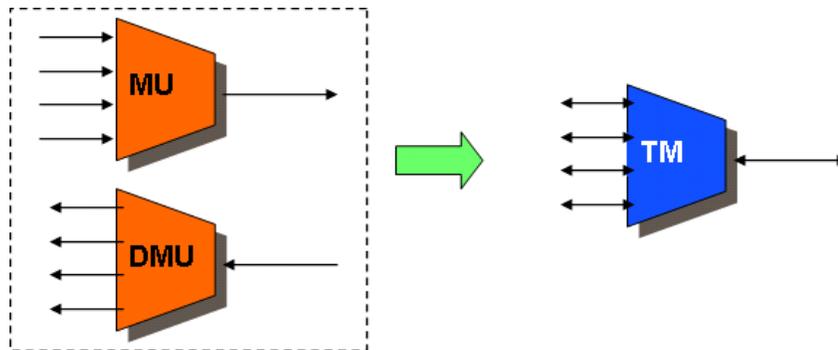


Fig. 1.13 Multiplexor Terminal

Cuando se tiene una configuración en cadena (chain) se puede utilizar el siguiente arreglo de MUX/DMUX para bajar (drop) y/o agregar (add) tráfico a la trama TDM.

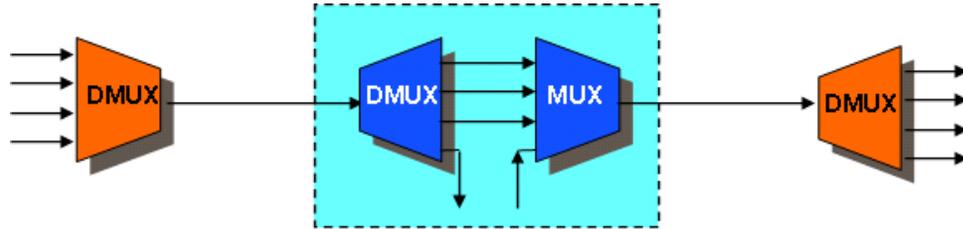


Fig. 1.14 Configuración "chain" de multiplexores (Add and Drop Multiplexer)

En una comunicación full-duplex este arreglo es conocido como un Multiplexor de Inserción y Derivación, ó simplemente un ADM (Add and Drop Multiplexer) y se representa como se muestra en la figura.

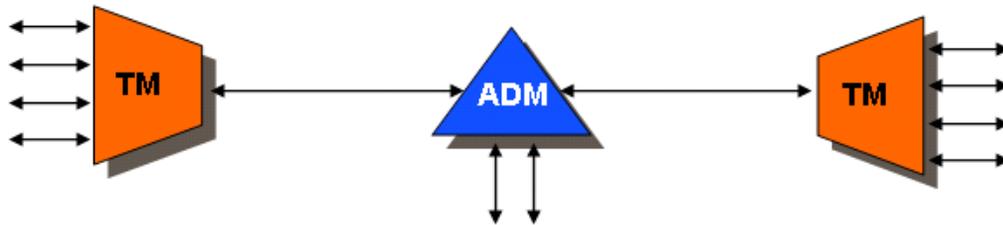


Fig. 1.15 ADM en full duplex

Con el fin de que el demultiplexor pueda separar las señales tributarias que viajan dentro de la trama, es necesario identificar el inicio de cada trama. Para lograr lo anterior, un patrón de bits bien conocido por el demultiplexor es agregado al inicio de cada trama.⁶

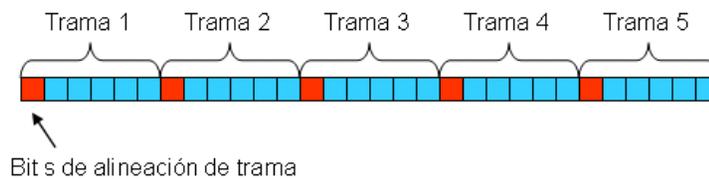


Fig. 1.16 Patrón de bits de alineación en una trama TDM

⁶ "Transmisión de señales", Curso de actualización Metronet, 2007

Capítulo 2

Fibra óptica

2.1 Antecedentes históricos de la fibra óptica

En la búsqueda por encontrar materiales conductores capaces de soportar transmisiones de altas frecuencias, resistentes a temperaturas variables y condiciones ambientales, los ingenieros y tecnólogos desde mediados de siglo empezaron a desarrollar nuevas tecnologías de transmisión. Los cables de hierro que llevaban mensajes telegráficos no pueden soportar las frecuencias necesarias para acarrear a largas distancias las llamadas telefónicas sin pasar por severas distorsiones.

Por ello las compañías telefónicas se movieron hacia los pares de cables de cobre. Aunque estos cables trabajaron y continúan trabajando bien en algunas redes, para los años cincuenta, las centrales telefónicas de las rutas más ocupadas ya estaban muy saturadas, por lo que necesitaron mayor ancho de banda que el de los regulares pares de cables de cobre podían aguantar. Por ello las compañías telefónicas empezaron a usar cables coaxiales.

Desde su entrada en el mercado comercial en los años 70, la fibra óptica se ha desarrollado y se ha convertido en la protagonista de las telecomunicaciones, redes de datos y empresas de TV por Cable. Con el surgimiento de la industria de televisión por cable, que es un fuerte consumidor de ancho de banda, además de los cada vez mayores requerimientos de capacidad de conducción

de las empresas telefónicas, en dichos años el consumo de ancho de banda aumentó considerablemente, se recurrió al cable coaxial y a la tecnología digital que solventaron el requisito de mayor eficiencia en el uso del ancho de banda. Sin embargo, simultáneamente se empezaron a buscar otros conductores que usaran alguna forma de comunicación óptica, esto es, usando luz en vez de microondas.

Los primeros estudios sobre las fibras ópticas para aplicaciones de transmisión se llevaron a cabo a mediados de los 60. En el laboratorio de la Standard Telecommunications de ITT en Inglaterra, C.K. Kao y G.A. Hockham postularon que las ondas de luz se podían guiar por vidrio, o sea, fibra óptica, donde la luz que entra por un extremo de un hilo se refleja repetidamente en las paredes de la fibra con un ángulo crítico bajo y sale por el otro extremo con el mismo ángulo, igual que si pasara por una tubería. En 1970 los científicos de Corning Glass Works en Nueva York convirtieron la idea en realidad. Los ensayos de campo se empezaron en 1975 y en 1978 se habían instalado 1000 kilómetros de fibra óptica por el mundo.

Canadá fue uno de los pioneros en la instalación de redes de fibra óptica. En 1966, Bell Northern Research instaló un sistema de comunicaciones ópticas totalmente operativas en el Ministerio de la Defensa Nacional. También en 1981 se tendió una red rural, conocida como Proyecto Elie, en dos comunidades de la provincia de Manitoba donde no había ningún servicio de telecomunicación; y con la fibra óptica se llevaron a 150 hogares, servicios telefónicos, televisión por cable, radio en FM y videotexto.

En 1983 en Estados Unidos AT&T terminó el primer circuito de fibra óptica de larga distancia entre Washington y Boston. En ese mismo año se instalaron 15 rutas de larga distancia en Inglaterra, Escocia y Gales. Para 1980 había instalados 6 mil kilómetros de fibra óptica en el mundo que aumentaron a aproximadamente 160 mil hacia 1989.

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias, hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.⁷

2.2. Fibra óptica

La fibra óptica es un hilo fino de vidrio generalmente o plástico, que conduce luz por su interior. Generalmente esta luz es de tipo infrarrojo y no es visible al ojo humano. La modulación de esta luz permite transmitir información tal como lo hacen los medios eléctricos con un grosor del tamaño de un cabello humano, poseen capacidad de transmisión a grandes distancias con poca pérdida de intensidad en la señal y transportan señales impresas en un haz de luz dirigida, en vez de utilizar señales eléctricas por cables metálicos.

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

2.3. 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

⁷ SAFFORD, Edward L., "Introducción a la fibra óptica y el Láser", Ed.Paraninfo, 1988

LAN o sistemas de video vigilancia, mientras que la fibra óptica monomodo está diseñada para sistemas de comunicaciones ópticas de larga distancia.

2.3.1 Fibra 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 y 62.5/125 mm. Existen dos tipos de fibra óptica multimodo: de índice abrupto y de índice gradual.

2.3.1.1 Fibra multimodo de índice abrupto

Este tipo de fibra, se denomina de multimodo índice abrupto. La producción de las mismas resulta adecuada en cuanto a tecnología y precio se refiere. En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos. Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar dentro de la fibra es decir, son aquellas en el que “n” es constante a lo largo del núcleo y cambia abruptamente en el recubrimiento. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir está limitada, pero la calidad final es alta. El índice de refracción del núcleo es uniforme para todo el mismo, en realidad describe la forma general de la fibra óptica.

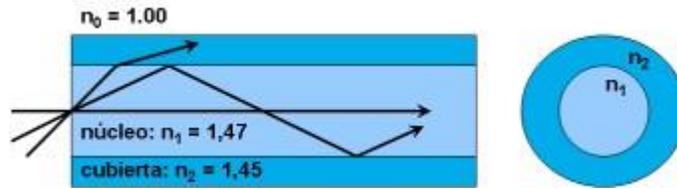


Fig. 2.1 Fibra multimodo de índice abrupto

2.3.1.2 Fibra multimodo de índice gradual

Este tipo de fibra es más costosa, y tienen una capacidad realmente amplia. La tecnología de fabricación de las mismas es realmente importante. Sus costos son elevados ya que el índice de refracción del núcleo varía de más alto, hacia más bajo en el recubrimiento. Este hecho produce un efecto espiral en todo rayo introducido en la fibra óptica, ya que todo rayo describe una forma helicoidal a medida que va avanzando por la fibra. El núcleo está hecho de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por lo tanto, sufren menos el severo problema de las multimodales.

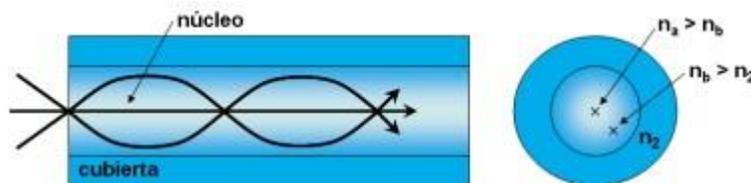


Fig. 2.2 Fibra multimodo de índice gradual

La variación del índice es gradual 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.

2.3.2 Fibra monomodo

Las fibras ópticas monomodo tienen un diámetro del núcleo mucho menor, lo que permite 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 μm . Al igual que las fibras multimodo, las primeras fibras monomodo eran de salto de índice, si bien 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 y 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.⁸

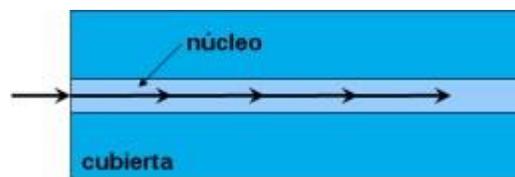


Fig. 2.3 Fibra monomodo

2.3.3 Comparación entre fibras multimodo y monomodo

Una comparación entre los tipos de fibra es:

Fibras multimodo. El término multimodo indica que pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, cada uno de los cuales sigue un camino diferente dentro de la fibra óptica. Este efecto hace que su ancho de banda sea inferior al

⁸ http://usuarios.lycos.es/Fibra_Optica

de las fibras monomodo. Por el contrario los dispositivos utilizados con las multimodo tienen un costo inferior (LED). Este tipo de fibras son las preferidas para comunicaciones en pequeñas distancias, hasta 10 Km.

Fibras monomodo. El diámetro del núcleo de la fibra es muy pequeño y sólo permite la propagación de un único modo o rayo (fundamental), el cual se propaga directamente sin reflexión. Este efecto causa que su ancho de banda sea muy elevado, por lo que su utilización se suele reservar a grandes distancias, superiores a 10 Km, junto con dispositivos de elevado costo (LÁSER).

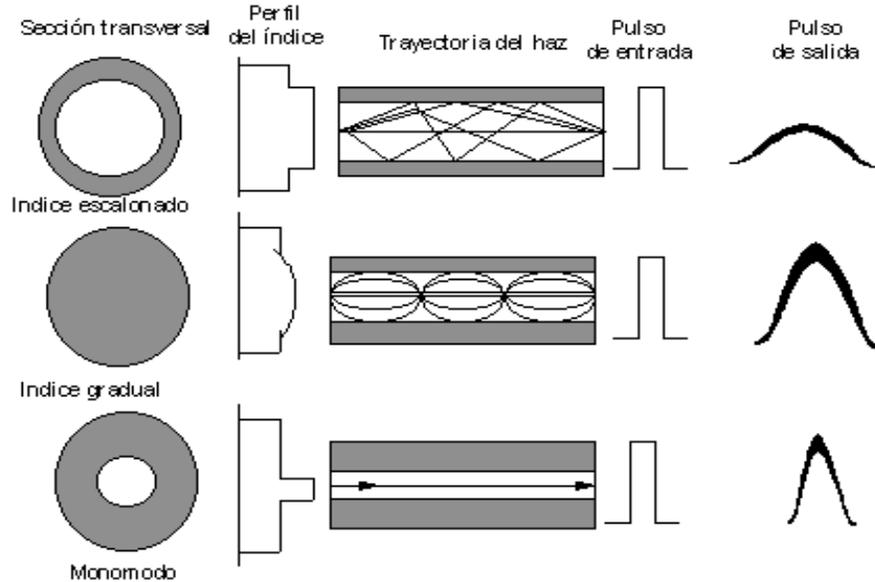


Fig. 2.4 Comparación técnica entre tipos de fibra óptica

2.4 Características técnicas de la fibra óptica

La fibra es un medio de transmisión de información analógica o digital. Las ondas electromagnéticas viajan en el espacio a la velocidad de la luz. Consiste en tres partes: la interior, denominada núcleo; la exterior, llamada revestimiento y un recubrimiento de protección alrededor del revestimiento. El núcleo (core) y el recubrimiento (cladding), cada uno de ellos formando por material con distinto

índice de refracción, para conformar así un guía-ondas propagador de las ondas luminosas.

Cuando hablamos de fibras de 50/125, 62.5/125 o 10/125 mm, nos estamos refiriendo a la relación entre el diámetro del núcleo y el del recubrimiento. El núcleo tiene un índice de refracción superior al del revestimiento. Debido a esta diferencia de índices, la luz transmitida se mantiene y propaga a través del núcleo, satisfaciéndose el principio de reflexión total interna.

Haciendo diferentes combinaciones entre el tamaño del núcleo y la diferencia de índices entre el núcleo y el revestimiento, se pueden obtener diferentes fibras en las que existe un único modo de propagación, manteniendo la relación $V < 2.405$.

La luz que entra en la fibra óptica se propaga a través del núcleo en modos, que representan a los diferentes caminos posibles de las ondas luminosas. Las ondas luminosas deben entrar en la fibra dentro de cierto ángulo, llamado ángulo de aceptación.

Otro parámetro importante en una fibra es su apertura numérica. En los conductores de fibra óptica se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso por su interior. El ángulo necesario para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior recibe el nombre de ángulo de aceptación. El seno de este ángulo se denomina apertura numérica.

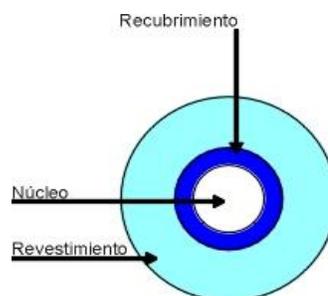


Fig. 2.5 Partes de una fibra óptica

- El Núcleo: En silicio, cuarzo fundido o plástico - en el cual se propagan las ondas ópticas.
- Diámetro: 50 o 62.5 nm para la fibra multimodo y 9nm para la fibra monomodo.
- La Funda Óptica: Generalmente de los mismos materiales que el núcleo pero con aditivos que confinan las ondas ópticas en el núcleo.
- El revestimiento de protección: por lo general está fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra.

2.5 Propagación de la luz en la fibra óptica

El fundamento de la fibra óptica es el siguiente: la luz enviada por el interior de la fibra se refleja en sus paredes, lo que tiene como consecuencia guiar el haz luminoso a lo largo de la fibra, incluso cuando ésta está curvada. Un enlace óptico comprende un foco luminoso láser que funciona en el infrarrojo próximo (a una longitud de onda de 1310 o 1550 nm). La luz emitida es modulada por un transmisor, un sistema controlado por la señal eléctrica que aporta la información. Los impulsos luminosos se envían a través de la fibra; en el otro extremo, un fotodiodo (o receptor) reconvierte la señal óptica en señal eléctrica. Y ésta es transformada finalmente en sonido, imagen o texto en el teléfono, la televisión o la pantalla del ordenador.

Como en todos los sistemas de comunicación numérica, la información está codificada en forma de una sucesión de 0 y de 1, en la que cada elemento se llama bit (de binary digit). En una fibra óptica, los 0 y los 1 son transportados físicamente por una onda luminosa cuya intensidad se modula: el tiempo se divide en almenas de igual duración, y en cada almena el 1 se codifica por medio de un impulso luminoso de una cierta intensidad, mientras que el 0 se representa por una ausencia de luz.

Los impulsos que constituyen las señales están individualizados en una onda luminosa y el número de informaciones transmitidas por segundo no puede exceder a la frecuencia de la onda portadora (es decir, como máximo un bit por periodo de la onda). Esta propiedad muestra el interés de utilizar señales ópticas cuyas frecuencias van de $10e^{14}$ a $10e^{15}$ Hz, en vez de ondas de radio de frecuencias más bajas (del orden de $10e^5$ a $10e^{10}$ Hz): las fibras ópticas hacen posibles caudales muy elevados, con unas pérdidas mucho menores que en los cables eléctricos.

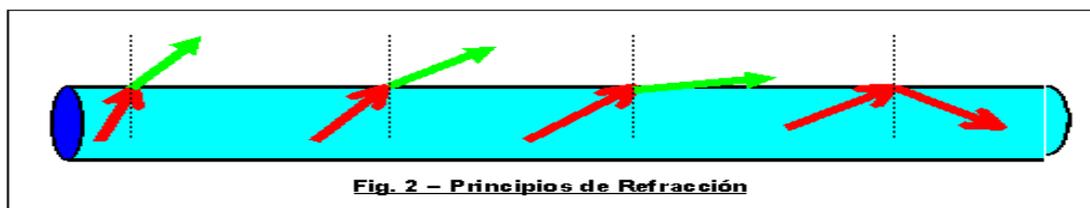


Fig. 2.6 Propagación de la luz en la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, y debido a la diferencia de índices la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. Se produce por ende el efecto denominado de Refracción Total.

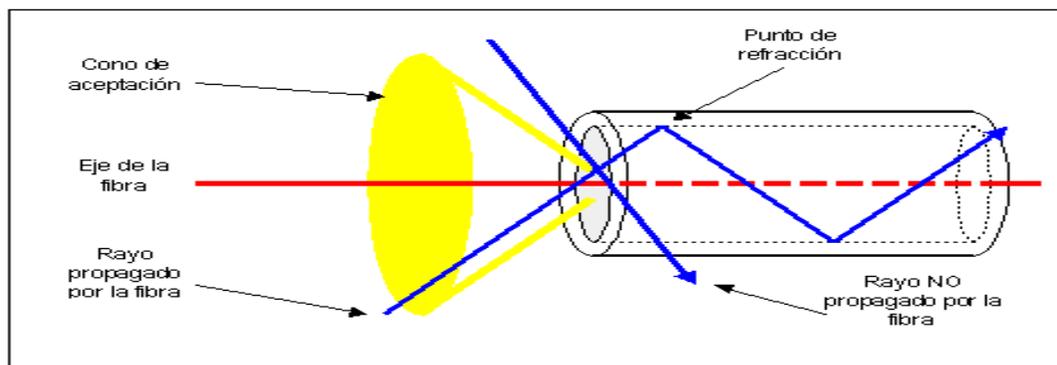


Fig. 2.7 Refracción total

Los rayos de luz pueden entrar a la fibra óptica si el rayo se halla contenido dentro de un cierto ángulo denominado cono de aceptación. Un rayo de luz

puede perfectamente no ser transportado por la fibra óptica si no cumple con el requisito del cono de aceptación. El cono de aceptación está directamente asociado a los materiales con los cuales la fibra óptica ha sido construida. La figura 2.7 ilustra todo lo dicho. Respecto a atenuaciones producidas dentro de otros medios de transmisión, la fibra óptica presenta niveles de atenuación realmente bajos que permiten transmitir luz por varios kilómetros sin necesidad de reconstruir la señal (regenerar).⁹

2.5.1 Ley de Snell

Esta importante ley, llamada así en honor del matemático holandés Willebrord van Roijen Snell, afirma que el producto del índice de refracción del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia están en un mismo plano.

En general, el índice de refracción de una sustancia transparente más densa es mayor que el de un material menos denso, es decir, la velocidad de la luz es menor en la sustancia de mayor densidad. Por tanto, si un rayo incide de forma oblicua sobre un medio con un índice de refracción mayor, se desviará hacia la normal, mientras que si incide sobre un medio con un índice de refracción menor, se desviará alejándose de ella. Los rayos que inciden en la dirección de la normal son reflejados y refractados en esa misma dirección.

$$n_2 \text{ Sen } \theta_2 = n_1 \text{ Sen } \theta_1; \theta_1 = \theta_3$$

n = índice de refracción del material

⁹ PARRA, Alvarado José Isabel, "Fibra Óptica"

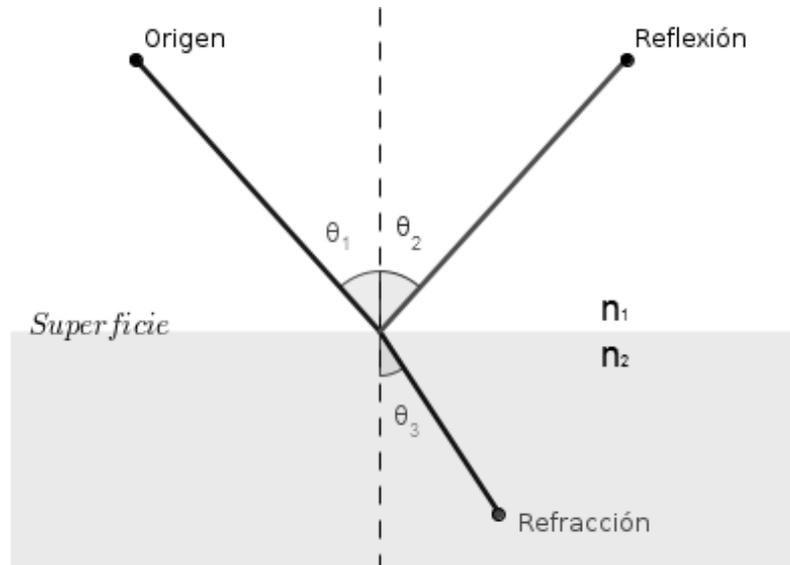


Fig. 2.8 Ley de Snell

Relación de la velocidad de la luz en el vacío entre la velocidad de la luz en el material 1. La velocidad de la luz en el material 1 depende de la frecuencia de la señal que se esté transmitiendo. Por lo tanto, “n” es un parámetro dependiente de la frecuencia de la señal que está siendo transmitida. Los materiales con valores pequeños de “n” se les conoce como medios menos densos. ¹⁰

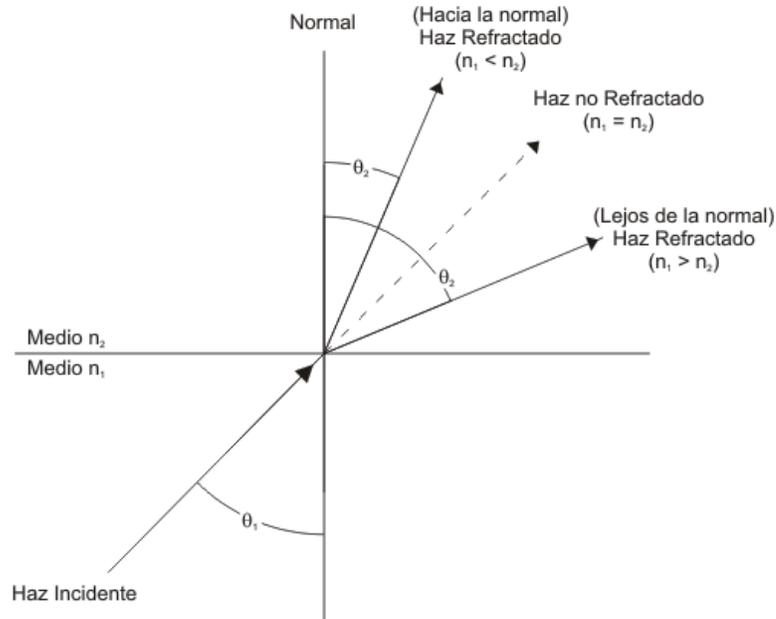


Fig. 2.9 Índices de refracción de acuerdo a la densidad del material

¹⁰ http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell

2.6 Características de transmisión de la fibra óptica

Un parámetro extrínseco a la fibra óptica es la ventana de trabajo de la longitud de onda central de la fuente luminosa que utilizamos para transmitir la información a lo largo de la fibra. La utilización de una ventana u otra determinará la atenuación que sufrirá la señal transmitida por kilómetro. Las ventanas de trabajo más convencionales son:

Primera ventana a 850 nm,

Segunda ventana a 1310 nm

Tercera ventana a 1550 nm.

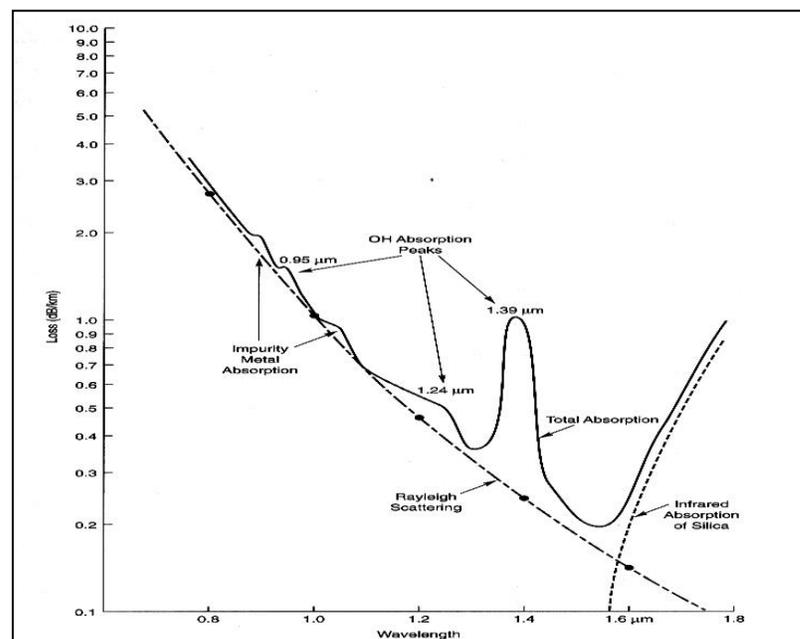


Fig. 2.10 Ventanas de operación de la fibra óptica

La atenuación es mayor si trabajamos en primera ventana y menor si lo hacemos en tercera.

El hecho de que se suele utilizar la primera ventana en la transmisión de una señal es debido al menor costo de las fuentes luminosas utilizadas, al ser

tecnológicamente más simple su fabricación. La relación de diámetros es de aproximadamente 1 de recubrimiento por 3 de núcleo.

El extra delgado hilo de vidrio está cubierto por una capa plástica que le brinda la protección necesaria, aunque normalmente un gran conjunto de fibras se unen entre sí para obtener mayor seguridad. Para manipular la fibra óptica, esta se incorpora dentro de una estructura mayor que asegura su funcionalidad y conservación. Este grupo de varias fibras ópticas es conocido con el nombre de cable óptico. Un elemento central de tracción con un recubrimiento de polietileno es empleado para evitar tensiones y tracciones que puedan romper una o varias de las fibras contenidas en su interior. Las fibras están recubiertas por una cinta helicoidalmente dispuesta, con una vaina exterior que recubre todo el conjunto.

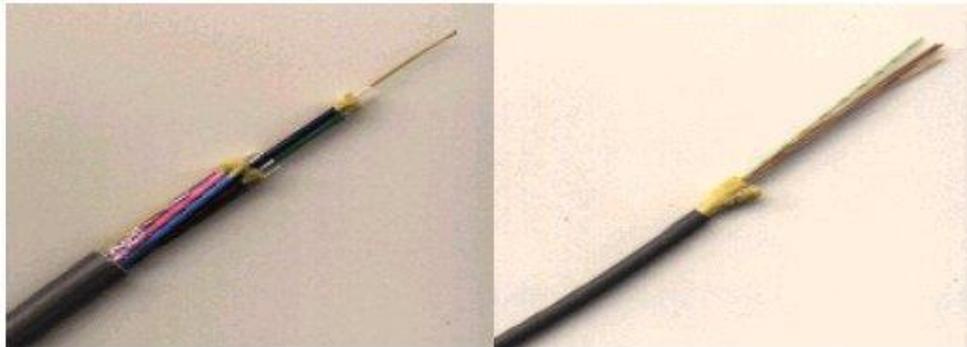


Fig. 2.11 Cable de fibra óptica

2.7 Componentes de atenuación en la fibra óptica

Los componentes de atenuación en una fibra son:

- Dispersión Rayleigh
- Absorción molecular

Atenuan la potencia óptica en una fibra óptica, modelada de la siguiente manera:

$$P_{\text{out}} = P_{\text{in}} e^{-\alpha L} = 10 \log_{10} P_{\text{out}} / P_{\text{in}} = -\alpha_L \text{dBL} = \text{Coeficiente de atenuación de la fibra}$$

$$P_{\text{out}} \text{ (dB)} = 10 \log_{10} P_{\text{out}} = P_{\text{in}} - \alpha_L \text{dBL}$$

Las pérdidas por atenuación se compensan con mayores potencias, mayor sensibilidad o amplificadores ópticos

2.7.1 Dispersión Rayleigh

Es el mecanismo dominante para la atenuación, la luz en la fibra óptica choca con los átomos y otras partículas en la fibra y sale disparada en todas direcciones perdiéndose. El efecto es similar a la absorción.

Esta pérdida se comporta en forma lineal a lo largo de la fibra:

$$\text{Luz Remanente} = (1 - \text{Dispersión}) \text{ Distancia}$$

Esta pérdida es dependiente de la longitud de onda:

$$\text{Dispersión} = A \lambda^{-4}$$

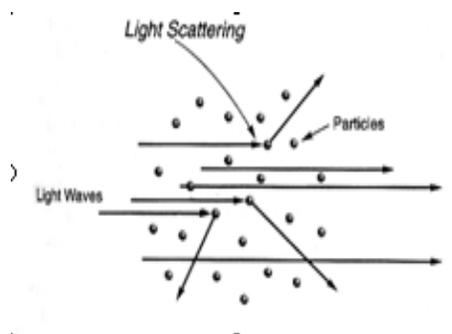


Fig. 2.12 Dispersión Rayleigh

2.7.2 Absorción molecular

Todos los materiales absorben algo de energía óptica, esto depende del tipo de material y de las impurezas que se encuentran en él. Este tipo de absorción depende fuertemente de la longitud de onda. El vidrio en una fibra óptica absorbe poca energía, pero las impurezas absorben significativamente más. Las técnicas de construcción de fibras actuales han casi eliminado las impurezas, por ello, la atenuación por material casi se ha eliminado.

2.8 Características mecánicas de la fibra óptica

La fibra óptica como elemento resistente dispuesto en el interior de un cable formado por agregación de varias de ellas, no tiene características adecuadas de tracción que permitan su utilización directa. Por otra parte, en la mayoría de los casos las instalaciones se encuentran a la intemperie o en ambientes agresivos que pueden afectar al núcleo. Es necesario disponer de cubiertas y protecciones de calidad capaces de proteger a la fibra.

Para ello hay que tener en cuenta su sensibilidad a la curvatura, la resistencia mecánica y las características de envejecimiento. Las curvaturas y tensiones se determinan por medio de los ensayos de:

- Tensión: cuando se estira o contrae el cable se pueden causar fuerzas que rebasen el porcentaje de elasticidad de la fibra óptica y se rompa o formen micro curvaturas.
- Compresión: es el esfuerzo transversal.
- Impacto: se debe principalmente a las protecciones del cable óptico.
- Enrollamiento: existe siempre un límite para el ángulo de curvatura pero, la existencia del forro impide que se sobrepase.
- Torsión: es el esfuerzo lateral y de tracción.

- Limitaciones Térmicas: Estas limitaciones difieren en alto grado según se trate de fibras realizadas a partir del vidrio o a partir de materiales sintéticos.

Otro objetivo es minimizar las pérdidas adicionales por cableado y las variaciones de la atenuación con la temperatura.

Tales diferencias se deben a diseños calculados a veces para mejorar otras propiedades, como la resistencia mecánica, la calidad de empalme, el coeficiente de relleno (número de fibras por mm^2) o el costo de producción.

2.9 Fabricación de la fibra óptica

La mayoría de las fibras ópticas se hacen de arena o sílice, materia prima abundante en comparación con el cobre. El núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz. Consiste en una o varias hebras delgadas de vidrio o plástico con diámetro de 50 a 125 micras. El revestimiento es la parte que rodea y protege al núcleo. El conjunto de núcleo y revestimiento está a su vez rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento y otros riesgos del entorno.

La deposición de vapor químico (CVD) fue uno de los primeros métodos para producir fibras de bajas pérdidas. Un segundo método para producir fibras es aquel que implica la utilización de un doble crisol. El método CVD se utilizó por Corning Glass para demostrar bajas pérdidas de propagación en las fibras cuando, en 1970, se realizó la primera fibra con 20dB/Km. Una versión modificada del CVD (MCVD) se utiliza actualmente en la que la deposición de vapor químico se realiza en el interior de un tubo de silicio de alta capacidad.

2.9.1 Proceso de deposición de vapor químico modificado (MCVD)

La fabricación de fibras ópticas consta esencialmente de dos etapas: la fabricación de la preforma y el estirado y recubrimiento de la fibra.

El proceso comienza con un tubo de silicio de unos 2 metros de largo y 4cm de diámetro. El tubo se hace rotar y se calienta, mientras se hace pasar por él una mezcla de gases de alta pureza. Cerca de la zona caliente tiene lugar una reacción química y se deposita un material muy puro. Desplazando dicha zona a lo largo del tubo, queda adherida una capa uniforme a su superficie interior. Mediante sucesivos pases se consiguen capas con el espesor y composición requeridos.

Después se colapsa el tubo a temperatura más elevada en una varilla maciza o preforma en cuyo centro, la capa de vidrio depositada forma un filamento con el perfil de índice de refracción que requiere la fibra. Esta preforma se monta luego en una torre de estirado y se mete en un horno, estirándose la fibra desde su extremo reblandecido y aplicando sobre su superficie capas de polímeros que la protegen y hacen más manejable.

En la cadena de vaporizadores para la producción de preformas se incluyen vaporizadores de fuente líquida, fuentes gaseosas, suministros de gas portador y una línea de cloro para fabricación de vidrio con bajo contenido de OH⁻.

2.9.2 Proceso de doble crisol

El material del núcleo, de índice más elevado, se coloca en el crisol interior. Concéntrico a este crisol se encuentra un segundo, dentro del cual se introduce el material del revestimiento. Ambos crisoles se calientan por inducción. Un

calibrador permite controlar las dimensiones de la fibra. Durante un proceso, se aplica un recubrimiento de protección, normalmente un polímero. La fibra se enrolla sobre un tambor a una velocidad controlada.

Una primera desventaja del método de doble crisol es la presencia de sustancias contaminantes procedentes de los crisoles, haciendo difícil la realización de fibras de muy bajas pérdidas.

2.10 Usos de la fibra óptica

La capacidad de la fibra óptica multiplica la del cable de cobre, pues para una llamada telefónica se necesitan dos cables de cobre, pero un par de fibras ópticas pueden realizar casi 2 mil llamadas simultáneamente. Su alta capacidad de conducción no se pierde por curvas o torsiones, por lo que se utiliza para tender desde redes interurbanas hasta transoceánicas. Mientras que las redes de cobre toleran un máximo de 10 mil circuitos por cable, los de fibra óptica pueden tolerar hasta 100 mil. Los costos de obtener el cobre son infinitamente mayores que la obtención de la fibra óptica, cuya materia prima es muy abundante, pues el silicio se obtiene de la arena y su peso es de apenas 30 gramos por kilómetro.

También, respecto de las comunicaciones por satélite ofrece algunas ventajas. Una conversación por cable entre Europa y América del Norte tiene un retraso aproximado de 65 milésimas de segundo, que no se llega a apreciar por las personas, pero si esa conversación se realiza por satélite, el retraso se multiplica por 10, convirtiéndose en más de medio segundo. Este retardo es visible cuando se realiza una entrevista de televisión por satélite.

Inicialmente las fibras ópticas se usaron solamente para conectar centrales telefónicas en áreas de mucho tráfico de las grandes ciudades. A medida que la

tecnología de las comunicaciones avanzó, las fibras empezaron a penetrar en las redes de larga distancia. Ya se tienden en áreas locales entre las centrales telefónicas y el equipo de los clientes. Muchos nuevos edificios comerciales son cableados con fibra óptica para apuntalar las redes telefónicas y las redes de cómputo de alta velocidad. También ya se encuentran en las centrales telefónicas y los tableros de circuitos de conexión.

El ideal es que lleguen a todas las casas de los clientes del servicio telefónico y provean sobre la misma red de fibra óptica el servicio de voz y video. Sin embargo, la real explotación de las fibras ópticas para transmisiones electrónicas y las transmisiones ópticas completas, que llevarán a mayores incrementos en las capacidades de las redes, están todavía en camino.

En el futuro cercano deberán desarrollarse mejores fuentes de luz y detectores de fibra de vidrio especial que incrementaran las capacidades de transmisión en un factor arriba de 1000. Los chips ópticos darán mayor velocidad a las computadoras y al equipo de comunicación.

La evolución de las redes de telecomunicación al ideal de redes completamente ópticas (con líneas con conexiones ultra rápidas y dispositivos de almacenamiento también ópticos), se vislumbra compleja. Así mismo, la homologación de los soportes tecnológicos para el establecimiento de lo que se ha denominado como autopistas de información o redes integradas ya no depende tanto de la capacidad de desarrollo tecnológico, sino más bien de factores económicos, políticos y regulatorios de organización y funcionamiento de las empresas de telecomunicaciones.

Aunque nos enfocamos más en las fibras ópticas y en su módulo como medio de información su uso es muy variado, algunos ejemplos de donde se emplea comúnmente la fibra óptica son:

Telefonía

- Enlaces sin repetidora entre centrales telefónicas.
- Enlaces interurbanos con repetidoras.
- Enlaces transoceánicos por cable óptico submarino.
- Transmisión de datos.
- Distribución de gran capacidad entre los abonados de servicios telefónicos, videofónicos y de transmisión de datos.

Televisión

- Distribución por cable.
- Enlaces cámara-estudio.
- Tele conferencias.
- Sistemas de seguridad.

Informática

- Enlaces entre computadoras.
- Enlaces entre computadoras y periféricos.
- Conexión de material de oficina.
- Enlaces internos de material informático.

Control de Procedimientos e Instrumentación

- Trabajo en un medio de flagrante.
- Controles nucleares.
- Instrumentación de medida y control.

Transportes

- Comunicaciones tácticas
- Aviación
- Marina

2.11 Ventajas y desventajas de la fibra óptica

Ventajas:

- Insensibilidad a la interferencia electromagnética, como ocurre cuando un alambre telefónico pierde parte de su señal a otro
- Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es también segura y no puede ser perturbada
- Carencia de señales eléctricas en la fibra, por lo que no pueden dar sacudidas ni otros peligros. Reducido tamaño del cable capaz de llevar un gran número de señales
- Sin puesta a tierra de señales, como ocurre con alambres de cobre que quedan en contacto con ambientes metálicos
- Compatibilidad con la tecnología digital
- Fácil de instalar y gran seguridad
- Bajas pérdidas y gran ancho de banda
- Tamaño y Peso Reducido
- No le afecta ningún tipo de interferencia. Puede pasar el cable de fibra al lado de conductores que transporte grandes cantidades de energía
- Son fáciles de conseguir en el mercado, material base abundante (Sio₂)
- Grandes velocidades en la transmisión de datos (500 Mhz)
- No requieren cañería de protección mecánica y eléctrica dedicada

Desventajas:

- Sólo pueden suscribirse las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya esté instalada la red de fibra óptica.
- El costo es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en mega bites.
- El costo de instalación es elevado.
- Fragilidad de las fibras.
- Disponibilidad limitada de conectores.
- Dificultad de reparar un cable de fibras rotas en el campo. ¹¹

2.12 Tipos de cable de fibra óptica

Cable de fibra óptica para exterior, estructura multitubo holgado (multi loose tube), autoportado, con cuerda de acero de aplicación en cableado exterior, a grandes distancias en límites de redes telefónicas. Soporta la transmisión de señales de televisión por cable así como la transmisión de datos. Es adecuado para cableado en canalizaciones de cables y para tendido al aire. Usado típicamente para colocar arriba de postes.

¹¹ <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>



Fig. 2.13 Cable de fibra óptica multitubo con guía de acero

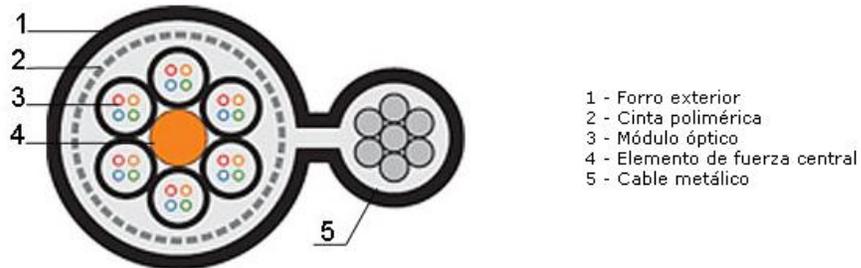


Fig 2.14 Diagrama del cable de fibra óptica multitubo con guía de acero

Cable de fibra óptica exterior, estructura multitubo holgado (multi loose tube), autosoportado, sin cuerda de acero. De aplicación en interiores de tubo.



Fig. 2.15 Cable de fibra óptica multitubo sin guía de acero

Cable de fibra óptica exterior, estructura unitubo holgado. Usado para ser instalada en ductos, fachadas o directamente enterrada, son cables dieléctricos o armados con acero. Construcción con estructura unitubo, multitubo o una fibra por tubo. Usado típicamente para acometidas.



Fig. 2.16 Cable de fibra óptica unitubo

Cable de fibra óptica, estructura unitubo holgado con carcasa. Usado típicamente para ir en tubo o enterrado.¹²



Fig. 2.17 Cable de fibra óptica unitubo con carcasa

2.13 Código de colores

No hay un estándar definido para los colores de los tubos y depende del fabricante, por lo que es necesario preguntar al proveedor cual usa.

¹² <http://www.arqhys.com/arquitectura/cables-tipos.html>

TUBOS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

FIBRAS

1	13	25	37	49	61	73	85	97	109	121	133
2	14	26	38	50	62	74	86	98	110	122	134
3	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123	135
4	16	28	40	52	64	76	88	100	112	124	136
5	17	29	41	53	65	77	89	101	113	125	137
6	18	30	42	54	66	78	90	102	114	126	138
7	19	31	43	55	67	79	91	103	115	127	139
8	20	32	44	56	68	80	92	104	116	128	140
9	21	33	45	57	69	81	93	105	117	129	141
10	22	34	46	58	70	82	94	106	118	130	142
11	23	35	47	59	71	83	95	107	119	131	143
12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144

Fig. 2.18 Código de colores para los tubos de los cables de fibra óptica

Mediante estos colores se puede identificar que numero de fibra es la que se está manipulando

2.14 Elementos y accesorios para instalaciones de fibra óptica.

Para crear una red de fibra óptica, es necesario contar con el equipo necesario para ello; con esto, se deja en condiciones óptimas a la red desde un inicio, así como disminuye el riesgo de posibles fallas y el número de manteamientos preventivos y/o correctivos a la misma.

2.14.1 Conectores

Son conexiones temporales de fibras ópticas. Este sistema debe tener una precisión grande para evitar la atenuación de la luz. Suelen emplear los denominados Lentes Colimadores, produciendo pérdidas de 1dB.

Se podría decir que la mayoría de los conectores tienen algunas ventajas y desventajas y se usan dependiendo de las entradas de los equipos que se instalan, cada fabricante de equipo selecciona el que más le convence, pero más allá de eso la tendencia es a disminuir el tamaño y por lo tanto se convierten en los preferidos de los fabricantes.

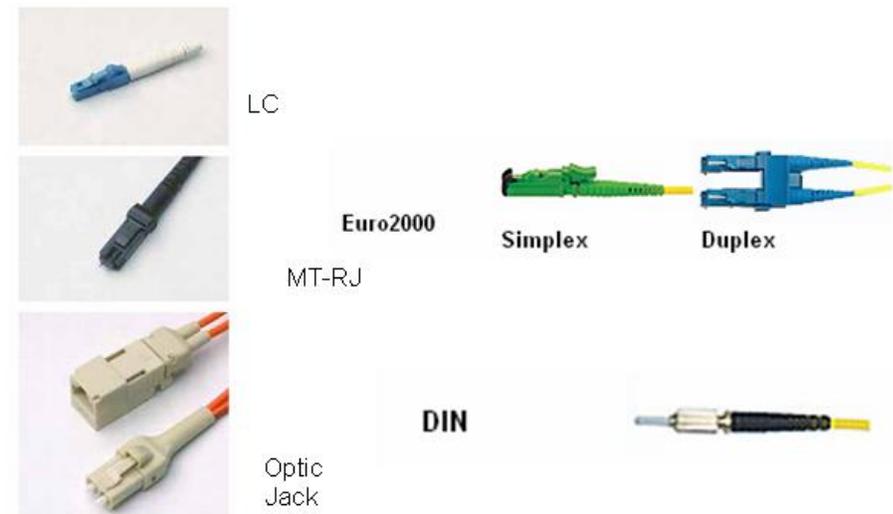


Fig. 2.19 Conectores para fibra óptica

2.14.1.1 Pulido

El pulido es el terminado que se le da a la fibra que se encuentra en la punta de un conector para su mejor acoplamiento y mejorar las pérdidas de inserción. La forma de pulido ha estado evolucionando y pronto saldrán otros nuevos que harán un mejor acoplamiento con equipos y otras fibras.

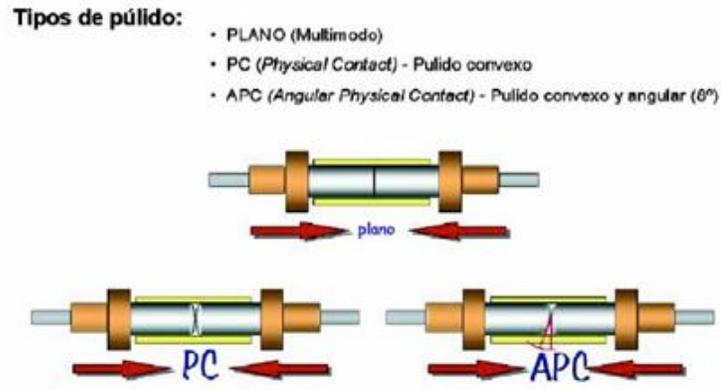


Fig. 2.20 Tipos de pulido para conectores

2.14.2 Jumpers

Usados en el último tramo de interconexión, son flexibles, prácticos, ligeros y permiten hacer una conexión rápida con distintos tipos de equipos. Los hay de todas medidas y con puntas con igual conector o con diferentes.

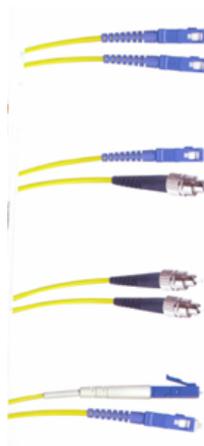


Fig. 2.21 Tipos de jumper

2.14.3 Acopladores

Estos nos sirven para conectar diferentes tipos de conectores para fibra, son prácticos debido a que no es necesario tener el jumper con las puntas correctas, ya que con estos acopladores puedes pasar de un tipo a otro. Dos tipos de acopladores los que existen: en T y en estrella. Los acopladores en T permiten distribuir la luz proveniente de una fibra, hacia dos salidas, por lo general una entra a una computadora, y la otra prosigue hacia las siguientes. Los acopladores en estrella permiten distribuir una sola entrada de información hacia muchas salidas. Estos últimos pueden ser de 3 a 40 puertos. Todo acoplador tiene una pérdida aproximada de 5dB.



Fig. 2.22 Tipos de acopladores

2.14.4 Atenuadores

Nos sirven para atenuar la salida o llegada del láser para no dañar los equipos por exceso de potencia recibida, los hay de diferentes tipos de entrada, machos, hembras, y de diferente atenuación, 5,10, 15, 20 dB



Fig .2.23 Tipos de atenuadores

2.15 Instrumentos de medición y mantenimiento para redes de fibra óptica.

Durante la creación de una red de fibra óptica y/o un mantenimiento de la misma es necesario contar con el equipo de medición y mantenimiento apropiado, esto es de gran ayuda y facilita dichas actividades minimizando tiempos de reparación.

2.15.1 OTDR

Un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo. Es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada (ejemplo 3ra ventana: 1550 nm), para luego medir sus “ecos”, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la fibra óptica.

Estos resultados, luego de ser promediadas las muestras tomadas, se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal en función de la distancia.

Luego se podrán medir atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos puntos, etc.

También se utiliza para medir la distancia a la que se produjo un corte, o la distancia total de un enlace, o para identificar una fibra dándole una curvatura para generar una fuga y observando en la pantalla del OTDR ver si la curva se “cae”.



Fig. 2.24 OTDR

Parámetros de medición:

- Índice de refracción
- Ancho de pulso
- Rango de medición en km
- Longitud de onda
- Cantidad de muestras
- Monomodo, multimodo, etc.

Mediciones de:

- Atenuación entre 2 puntos
- Pérdida en empalme
- Pérdida de retorno

- Atenuación por tramo
- Distancias a empalmes, cortes, tramos, etc.

2.15.2 Medidor de potencia óptica

El medidor de potencia de fibra óptica es una herramienta que nos sirve para medir cuánta luz está saliendo por el extremo de un cable de fibra óptica. Su función es la de medir potencia óptica en dos longitudes de onda 1310 nm y 1500 nm.



Fig. 2.25 Medidor de potencia óptica

2.15.3 Fuente de luz

Este instrumento sirve para la identificación de rupturas, dobleces, conectores o empalmes defectuosos, así como otras causas de pérdida de señal. Puede detectar fallos a distancias de hasta 5 km dependiendo del fabricante. Localiza fallos de forma visual creando un punto luminoso de color rojo en la ubicación exacta del fallo en fibras monomodo y multimodo.



Fig. 2.26 Fuente de luz

2.15.4 Pulidor

Este instrumento es utilizado para dar el terminado a la fibra que se encuentra en la punta de un conector. Dicho terminado es necesario para su mejor acoplamiento y mejorar las pérdidas de inserción.



Fig. 2.27 Pulidor

2.15.5 Empalmadora

Este instrumento es utilizado para empalmar o unir dos segmentos de fibra óptica. Dicho trabajo se realiza mediante fusión o acoplamiento mecánico.



Fig. 2.28 Empalmadora

2.15.5.1 Empalmes

Son interconexiones permanentes entre fibras. En este caso, los núcleos de las fibras que se unan deben estar perfectamente alineados a fin de que no se produzca ninguna pérdida. Dentro de los empalmes, existen dos formas de los mismos:

- *Empalmes por fusión*; en la cual, las dos fibras ópticas son calentadas hasta obtener el punto de fusión, y ambas quedan unidas. Este método siempre tiene una ligera pérdida de 0.2dB.
- *Empalme mecánico*; en el cual, por elementos de sujeción mecánicos las puntas adecuadamente cortadas de las fibras se unen permitiendo el pasaje de luz. ¹³

¹³ “Fibra Óptica”, Curso de actualización MetroNet, 2007

Capítulo 3

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

3.1 Concepto

La Jerarquía Digital Plesiócrona, conocida como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), es una tecnología usada en telecomunicación para transportar grandes cantidades de información mediante equipos digitales de transmisión que funcionan sobre fibra óptica, cable coaxial o radio de microondas.

El término *plesiócrono* se deriva del griego *plesio*, cercano y *chronos*, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están *casi*, pero *no completamente* sincronizadas, pues, cada una de ellas se sincroniza con una fuente de reloj distinta. Sin embargo, las frecuencias de oscilación de estas fuentes de reloj son muy cercanas entre sí.¹⁴

¹⁴ ANGULO, Giovanni, "Jerarquía Digital Plesiócrona PDH"

3.3 Antecedentes históricos

El desarrollo de los sistemas de transmisión digital empezó a principios de los años 70s, y fueron basados principalmente en el método de modulación PCM.

A principios de los 80s los sistemas digitales se hicieron cada vez más complejos, tratando de satisfacer las demandas de tráfico de esa época. La demanda fue tan alta que en Europa se tuvieron que aumentar las jerarquías de tasas de transmisión de 140 Mbps a 565 Mbps.

El problema era el alto costo del ancho de banda y de los equipos digitales. La solución era crear una técnica de modulación que permitiera la combinación gradual de tasas no síncronas (referidas como plesiócronicas), lo cual derivó al término que conocemos hoy en día como PDH.

En los últimos años ha sido muy común hablar de nuevos servicios de telecomunicaciones a parte de los ya tradicionales. Las necesidades de nuevos servicios, básicamente han sido creados por la creciente demanda de los usuarios que día a día van en aumento. Esto ha ocasionado que los operadores de redes de telecomunicaciones busquen modificar u optimizar sus redes. Para lo cual fue necesario el diseño y estandarización de nuevos equipos capaces de poder dar solución a estos nuevos retos.

3.3 Infraestructura PDH

PDH define un conjunto de sistemas de transmisión que utiliza dos pares de alambres y un método de multicanalización por división de tiempo (TDM) múltiples canales digitales de voz y datos. Surgió como una tecnología para el transporte de señales de voz en redes telefónicas digitales sobre un mismo enlace. Los canales a multiplexar denominados módulos de transporte o

contenedores virtuales se unen formando tramas o módulos de nivel superior a velocidades estandarizadas 2 Mbps, 8 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps y 565 Mbps. Los estándares más utilizados que hacen uso de la técnica de TDM son la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH) y la Jerarquía Digital Síncrona (SDH).¹⁵

3.4 Estándares de transmisión en PDH

La ITU-T en su recomendación G.702 define las siguientes velocidades para PDH:

- Estándar Europeo
- Estándar Americano

3.4.1 Estándar Europeo

Signal	Digital Bit Rate	Channels
E0	64 kbit/seg	One 64 kbit/seg
E1	2.048 Mbit/seg	32 E0
E2	8.448 Mbit/seg	4 E1
E3	34.368 Mbit/seg	4 E2
E4	139.264 Mbit/seg	4 E3

Tabla 3.1 Estándar Europeo de transmisión en PDH

¹⁵ <http://www.monografias.com>

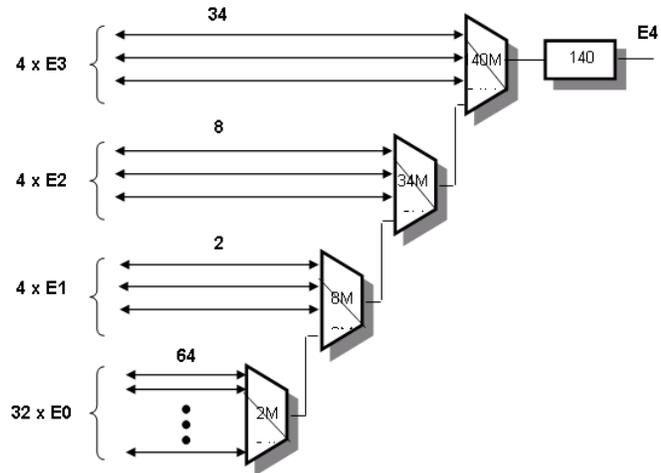


Fig. 3.1 Jerarquía de multiplexaje en el Estándar Europeo de transmisión en PDH

3.4.2 Estándar Americano

Signal	Digital Bit Rate	Channels
DS0	64 kbit/seg	One 64 kbit/seg
DS1 / T1	1.544 Mbit/seg	24 E0
DS2 / T2	6.312 Mbit/seg	4 T1
DS3 / T3	44.736 Mbit/seg	7 T2

Tabla 3.2 Estándar Americano de transmisión en PDH

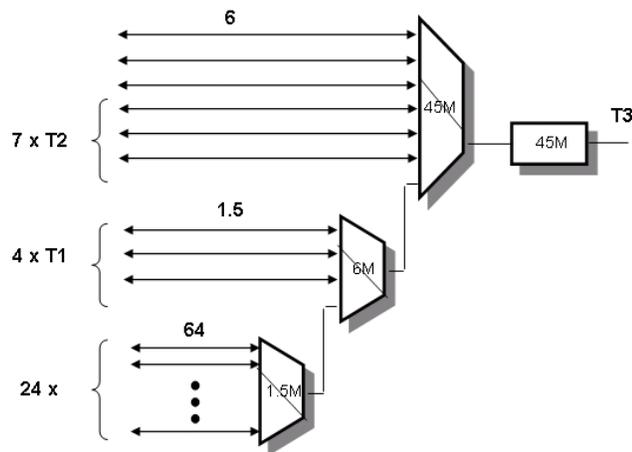


Fig. 3.2 Jerarquía de multiplexaje en el Estándar Americano de transmisión en PDH

PDH es una jerarquía de concepción sencilla, sin embargo contiene algunas complicaciones, que han llevado al desarrollo de otras jerarquías más flexibles a partir del nivel jerárquico más bajo de PDH (2 Mbps) equivalente a una trama MIC de RDSI (30B+D).

3.5 Desventajas de la tecnología PDH

La tecnología PDH presenta demasiados problemas técnicos que en su gran mayoría son debidos a la falta de definición de estándares, lo cual ha ocasionado que cada fabricante se vea obligado a crear soluciones propietarias que difícilmente podrían convivir con equipos de otros fabricantes. A continuación se explican algunas de las desventajas de la tecnología PDH:

- *Protección*: En PDH no existen esquemas de protección estandarizados, los que existen son propietarios.
- *Gestión*: No existe un estándar para la gestión de los equipos en una red PDH, los protocolos de gestión existentes son propietarios.
- *Velocidad, Distancia y Bit-Error-Rate (BER)*: En PDH no hay definidas interfaces para fibra óptica, lo cual permitiría alcanzar mayores velocidades de transmisión, mayores distancias entre regeneradores y menores tasas de errores.
- *Performance*: En PDH no existen estándares para el monitoreo del performance de los enlaces en servicio.
- *Add and Drop*: En PDH no es posible recuperar directamente de la señal de alto orden una señal de bajo orden específica sin tener que demultiplexar el resto de las señales. Para hacer esto, es necesario cascadear múltiples etapas de demultiplexaje y multiplexaje. Esto es necesario debido al proceso de bit-stuffing que se lleva a cabo dentro del proceso de multiplexaje.

- *Nuevas Tecnologías y Servicios Futuros*: PDH no soporta las nuevas tecnologías de banda ancha de manera eficiente.
- *Sincronía*: Debido a que en PDH las señales que son multiplexadas usan una referencia de reloj distinta, esto ocasiona deslizamientos de trama y pérdida de información.

La principal problemática de la jerarquía PDH es la falta de sincronismo entre equipos., cuando se quiere pasar a un nivel superior jerárquico se combinan señales provenientes de distintos equipos y cada equipo puede tener alguna pequeña diferencia en frecuencia. Es por ello necesario ajustar los canales entrantes a una misma frecuencia, para lo que se añaden bits de relleno.

Sólo cuando las frecuencias son iguales puede procederse a una multiplexación bit a bit como se define en PDH. El demultiplexor debe posteriormente reconocer los bits de relleno y eliminarlos de la señal. Este modo de operación recibe el nombre de plesiócrono.

A continuación se analizan los efectos causados por la desviación en frecuencia que existe entre un grupo de señales plesiócronicas cuando estas son multiplexadas.

3.6 Compensación en fase y frecuencia de señales plesiócronicas

Considere el siguiente escenario de multiplexaje:

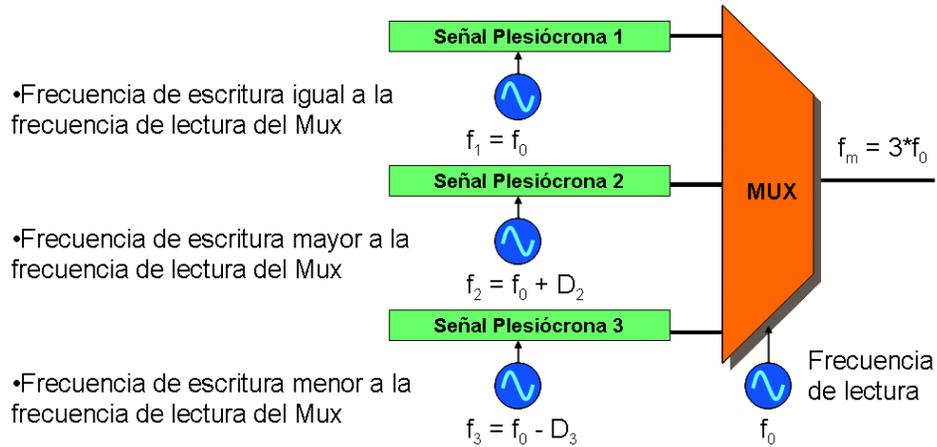


Fig. 3.3 Compensación en fase y frecuencia de señales plesiócronas

Partiendo del hecho que para que un bit pueda ser transmitido debe haber sido leído previamente por el MUX y éste a su entrada no cuenta con una memoria para almacenar más de un bit.

Caso 1: La velocidad de escritura es IGUAL a la velocidad de lectura del MUX. En este caso NO existen problemas de deslizamientos (slips) y toda la información se transmite en forma íntegra.

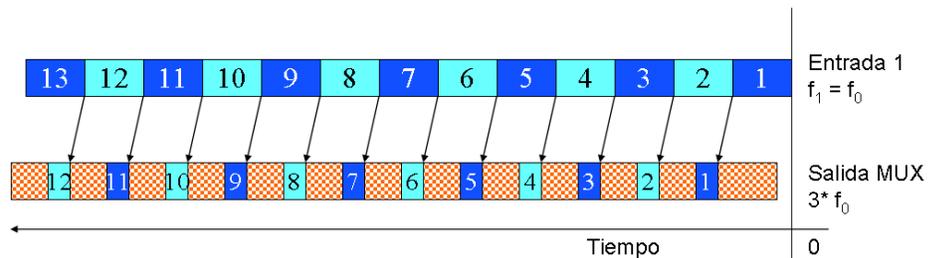


Fig. 3.4 Deslizamientos de bits (slips) en TDM

Caso 2: La velocidad de escritura es MAYOR a la velocidad de lectura del MUX. Algunos bits se pierden y no pueden ser transmitidos debido a que no llegan a tiempo.

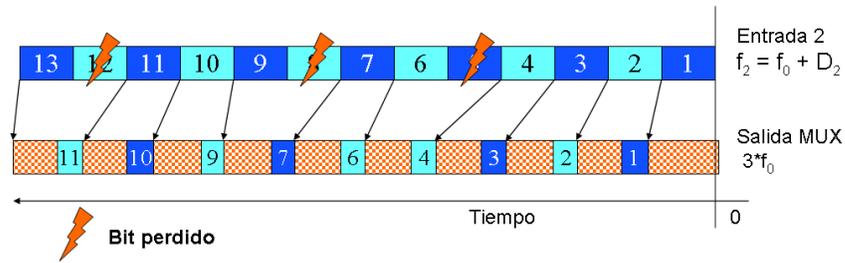


Fig. 3.5 Bits perdidos en TDM

Caso 3: La velocidad de escritura es MENOR a la velocidad de lectura del MUX. Es necesario insertar bits de relleno (bit-stuffing) para compensar la desviación en frecuencia de los relojes. Esto provoca deslizamientos de trama (slips).

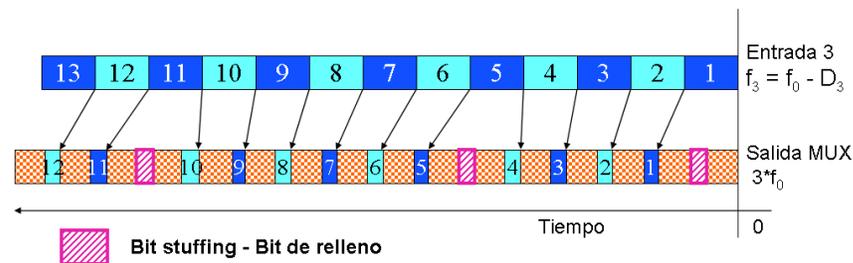


Fig. 3.6 Proceso bit stuffing en TDM

NOTA: Los efectos anteriores pueden ser reducidos empleando una memoria elástica en cada una de las entradas del MUX en combinación con la técnica de bit-stuffing, sin embargo, para asegurar que no exista pérdida de información (bits) se requiere que el valor promedio de la frecuencia de reloj de la señal de entrada sea igual a la frecuencia promedio del reloj de lectura del MUX.

Los problemas de sincronización ocurren a todos los niveles de la jerarquía, por lo que estos procesos han de ser repetidos en cada etapa de multiplexación. Este hecho genera un gran problema de falta de flexibilidad en una red con diversos niveles jerárquicos. Si a un punto de la red se le quieren añadir canales de 64 Kbps, y el enlace existente es de 8 Mbps o superior, debe pasarse por todas las etapas de demultiplexación hasta acceder a un canal de 2 Mbps y luego volver a multiplexar todas las señales de nuevo.

La falta de flexibilidad dificulta la provisión de nuevos servicios en cualquier punto de la red. Adicionalmente se requiere siempre el equipamiento correspondiente a todas las jerarquías comprendidas entre el canal de acceso y la velocidad del enlace, lo que encarece en extremo los equipos.

3.7 Protocolo E1

El protocolo E1 se creó hace muchos años ya para interconectar troncales entre centrales telefónicas y después se le fue dando otras aplicaciones hasta las más variadas que vemos hoy en día. La trama E1 consta en 31 divisiones (time slots) PCM (pulse code modulation) de 64kbps cada una, lo cual hace un total de 30 líneas de teléfono normales más 1 canal de señalización, en cuanto a conmutación. Señalización es lo que usan las centrales para hablar entre ellas y decirse que es lo que pasa por el E1. Si sumamos un E1 equivale a 2048kbps o 2 megas en la vocabulario tecnológico convencional. Hoy contratar una trama E1 significa contratar el servicio de 30 líneas telefónicas digitales para nuestras comunicaciones.

La trama de un E1 está definida como se muestra en la figura 3.7:

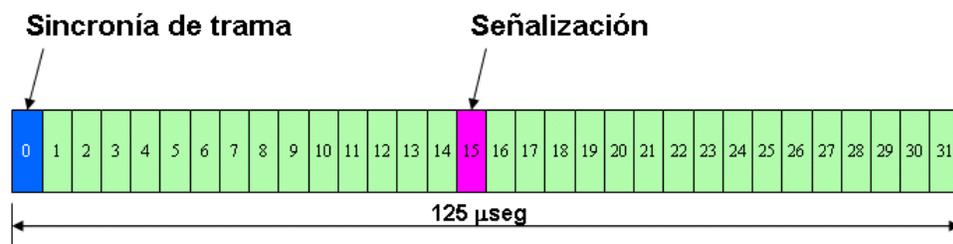


Fig. 3.7 Trama E1

- La longitud de la trama E1 es de 32 bytes o 256 bits
- Las ranuras de tiempo 1-14 y 16-31 son usadas para transportar 30 canales de voz de 64 kbit/s cada uno.

- La ranura de tiempo 0 permite identificar el inicio de la trama
- La ranura de tiempo 15 transporta la señalización necesario para establecer, mantener y terminar la conexión. ¹⁶

¹⁶ "SDH (Synchronous Digital Hierarchy)", Curso de actualización MetroNet, 2007

Capítulo 4

SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

4.1 Concepto

La Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy) y el equivalente norteamericano SONET son las tecnologías dominantes en la capa física de transporte de las actuales redes de fibra óptica de banda ancha. Su misión es transportar y gestionar gran cantidad de tipos de tráfico diferentes sobre la infraestructura física.

Es un protocolo de transporte que trabaja en la primera capa en el modelo OSI, basado en la existencia de una referencia temporal común (reloj primario), que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común flexible, y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica, con mecanismos internos de protección. Esta tecnología permite el transporte de tráfico tales como voz, video, multimedia, y paquetes de datos como los que genera IP. Para ello, su papel es, esencialmente, el mismo: gestionar la utilización de la infraestructura de fibra. Esto significa gestionar el ancho de banda eficientemente mientras porta varios tipos de tráfico, detectar fallos y recuperar de ellos la transmisión de forma transparente para las capas superiores.

SDH es comúnmente visto como un protocolo de nivel uno, es decir, un protocolo de la capa física de transporte. En este papel, actúa como el portador físico de aplicaciones de nivel 2 a 4, esto es, es el camino en el cual trafican los superiores niveles. En palabras simples, podemos considerar a las transmisiones SDH como tuberías las cuales portan tráfico en forma de paquetes de información.

4.2 Antecedentes históricos

En el año de 1985 la empresa Bell Core, le hace una propuesta al ANSI de estandarizar las velocidades mayores a 140Mb/s, que hasta el momento eran propietarias de cada empresa.

En 1986, Bell Core, y AT&T, proponen al CCITT, posibles velocidades de transmisión para que las mismas sean estandarizadas, cada una de estas empresas propone diferentes velocidades transmisión posibles.

La jerarquía SDH se desarrolló en EEUU bajo el nombre de SONET y posteriormente el CCITT en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH. (Synchronous Digital Hierarchy).

SDH se puede considerar como la evolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados.

Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación de la tecnología PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía

plesiócrona instalada, al mismo tiempo subsanar las desventajas inherentes a los sistemas PDH.

Podemos decir que SDH surge de la necesidad de resolver los problemas de la tecnología PDH, que en parte, son producto de la falta de estándares.¹⁷

4.3 La trama SDH

La trama SDH es llamada Módulo de Transporte Síncrono, por sus siglas en ingles STM (Synchronous Transport Module). El nivel jerárquico de transmisión básico en SDH es conocido como STM-1.

4.3.1 Estándar de transmisión en SDH

La ITU-T en sus recomendaciones G.707, G.708, y G.709 define las siguientes velocidades de transmisión para SDH:

Signal	Digital Bit Rate	Channels
STM-1	155.520 Mbit/seg	63 E1
STM-4	622.080 Mbit/seg	252 E1
STM-16	2.488 Gbit/seg	1008 E1
STM-64	9.953 Mbit/seg	4032 E1

Tabla 4.1 Estándar de transmisión en SDH

4.3.2 La trama STM-1

En su nivel jerárquico más bajo, conocido como STM-1, SDH corre a una velocidad de 155Mbps. La trama tiene un ancho de pulso de 125

¹⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_Digital_S%C3%ADncrona

microsegundos, por lo tanto, existen 8000 tramas por segundo y consiste de 2430 bytes organizados 9 renglones de 270 bytes cada uno; un byte en la trama SDH representa un canal de 64 Kbit/s. Dentro de la trama STM-1, 72 bytes han sido reservados para propósitos de gestión, monitoreo y funciones de mantenimiento. La trama STM-1 consiste de overhead (encabezados) más una capacidad de contenedor virtual (payload ó carga útil).

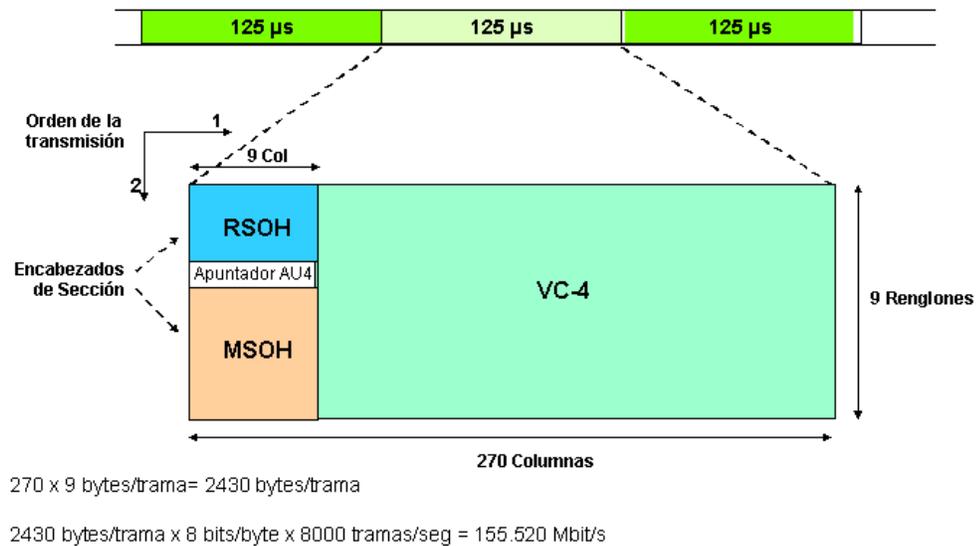


Fig. 4.1 Trama STM-1

La trama STM-1 está dividida en las siguientes secciones:

- Encabezado de sección del regenerador (RSOH)
- Encabezado de sección del multiplexor (MSOH)
- Apuntador AU4
- Encabezado del trayecto de alto orden (POH)
- Payload

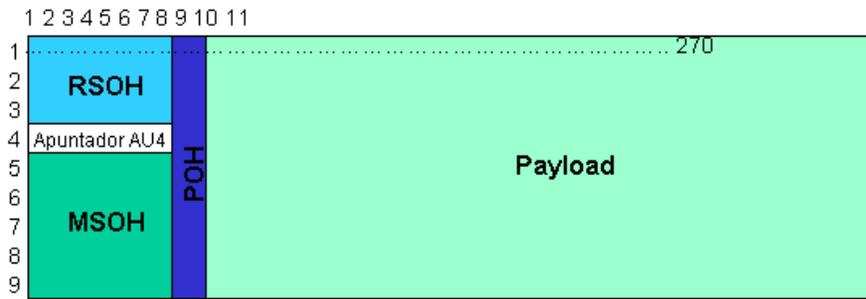


Fig. 4.2 Secciones de la trama STM-1

4.4 Mapeo de señales

Dentro del Payload de la trama SDH viajan las distintas señales tributarias multiplexadas en el tiempo. Una ranura de tiempo esta formada por 9 renglones y un número determinado de columnas que dependerá de la velocidad de la señal tributaria que se desea transportar.

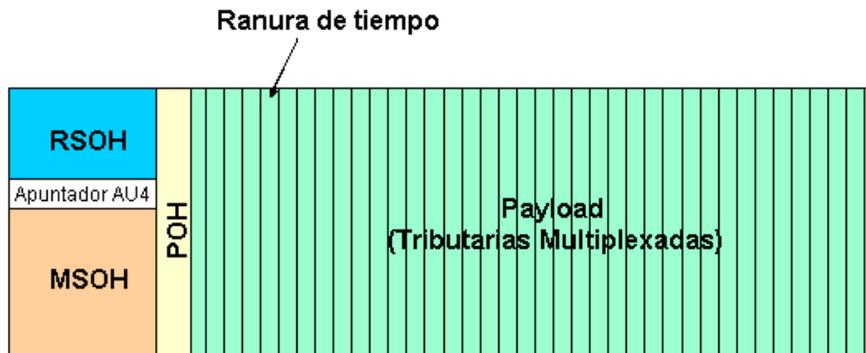


Fig. 4.3 Mapeo de señales tributarias en la trama STM-1

Las señales tributarias son mapeadas dentro de diversos Contenedores para poder posteriormente ser multiplexadas y transportadas a través de la Trama SDH.

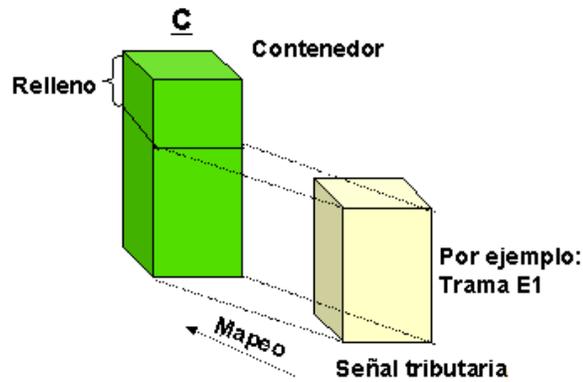


Fig. 4.4 Mapeo de una señal tributaria en un Contenedor

En SDH se han definido diversos tamaños de contenedores para las distintas velocidades de señales tributarias que SDH soporta.

Level	Digital Bit Rate
C4	140 Mbit/seg
C3	34 / 45 Mbit/seg
C2	6 / 8 Mbit/seg
C1.2	2 Mbit/seg
C1.1	1.55 Mbit/seg

Tabla 4.2 Jerarquía de Contenedores

A cada contenedor le es asociado un encabezado de trayecto (POH), el cual, contiene información de monitoreo de la información que transporta el contenedor. Al arreglo formado por el Contenedor y el Encabezado de Trayecto se le conoce como Contenedor Virtual (VC, Virtual Container). Un VC es transportado íntegramente a través de la Red SDH y su contenido no es inspeccionado por los nodos intermedios, solo por los nodos extremos.

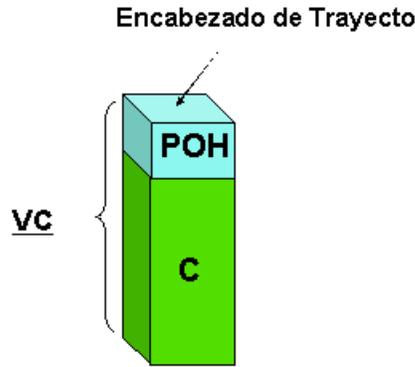


Fig. 4.5 Contenedor Virtual

A continuación se listan las distintas jerarquías de Contenedores Virtuales definidos en SDH:

SDH	Digital Bit Rate	Size
VC-11	1.728 Mbit/seg	9 renglones, 3 columnas
VC-12	2.304 Mbit/seg	9 renglones, 4 columnas
VC-2	6.912 Gbit/seg	9 renglones, 12 columnas
VC-3	48.960 Mbit/seg	9 renglones, 85 columnas
VC-4	150.336 Mbit/seg	9 renglones, 261 columnas

Tabla 4.3 Jerarquía de Contenedores Virtuales

4.4.1 Unidad Tributaria (TU)

La Unidad Tributaria es una entidad de transporte síncrona a la trama SDH y a través de la cual los distintos Contenedores Virtuales (VCs) de bajo orden son alineados en forma independiente, logrando así, que cada uno de los VCs conserven su frecuencia y fase original mientras atraviesan los nodos de red SDH. La Unidad Tributaria está conformada por el VC, un apuntador que señala el comienzo del VC y un espacio reservado que da la oportunidad de alinear el VC dentro de la trama SDH.

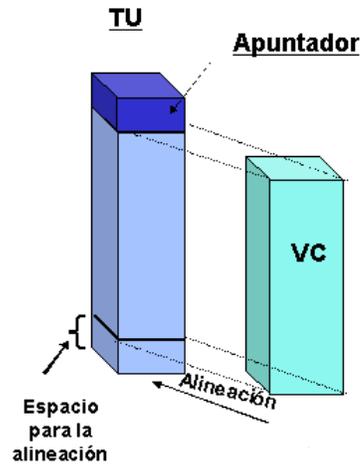


Fig. 4.6 Unidad Tributaria

4.4.2 Unidad Administrativa (AU-4)

Un Apuntador es incorporado al VC-4 para compensar las diferencias de fase y frecuencia que pudiera existir entre el VC-4 y el STM-N. A este arreglo de apuntador y VC-4 se le conoce como Unidad Administrativa de Orden 4.

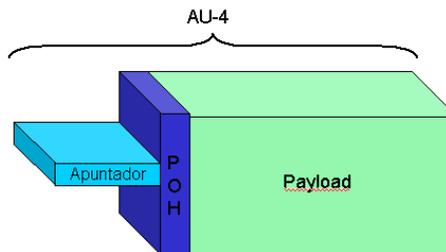


Fig. 4.7 Unidad Administrativa

4.4.3 Jerarquía de multiplexaje en SDH

Las Unidades Tributarias pueden ser multiplexadas en TUG's, puede haber TUG's de bajo orden y TUG's de alto orden; a su vez, estos TUG's pueden ser multiplexados en VC's de bajo orden (VC-2 y VC-3) viajando a velocidades de

6 Mbps (TUG-2) y 34/45 Mbps (TUG-3). Los TUG-3 (TUG's de alto orden son después multiplexados en VC's de alto orden de (VC-4) formando un AU-4 (Unidad Administrativa de orden 4) viajando a una velocidad de 140 Mbps.

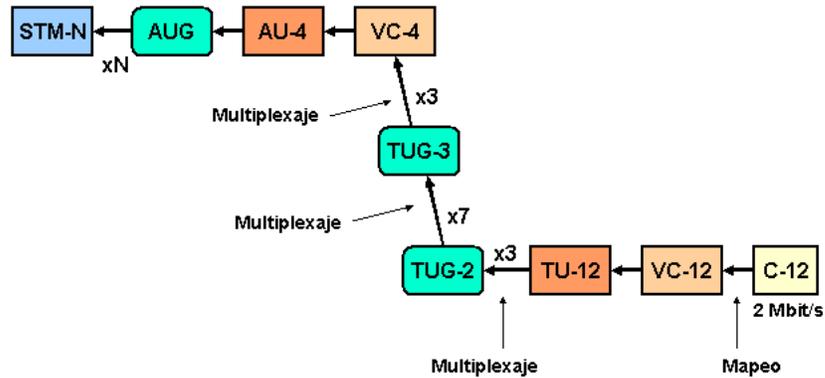


Fig. 4.8 Jerarquía de multiplexaje en SDH

En SDH, el proceso de multiplexaje comienza acomodando las distintas señales tributarias a ser transportadas dentro de unidades de transporte llamadas contenedores, para lo cual, podría ser necesario hacer ajustes de fase y frecuencia. Dentro de un equipo ADM los diversos VCs provenientes de las tributarias son generados usando una misma fuente de sincronía, por lo cual, desde el origen ya se encuentran alineados en fase, pudiendo ser posible multiplexarlos sin necesidad de alinearlos previamente. Sin embargo, cuando dentro del mismo ADM se requieren multiplexar VCs que han sido generados con distintas fuentes de sincronía, antes de multiplexarlos o cross-conectarlos es necesario alinearlos. SDH incorpora un mecanismo a base de apuntadores que permite alinear fácilmente los VC's antes de ser cross-conectados o multiplexados.

4.5 Alineación de señales (apuntadores)

En PDH, cuando un conjunto de señales provenientes de distintos dominios de sincronía son multiplexadas o cross-conectadas, las diferencias de fase y

frecuencia que pudieran existir entre las mismas son compensadas a través de un proceso conocido como bit-stuffing, el cual, consiste en la inserción de bits de relleno.

En SDH, la compensación de las diferencias de fase y frecuencia de las señales que son multiplexadas o cross-conectadas se realiza de una forma más elegante y eficiente a través del manejo de apuntadores. Este hecho permite fabricar equipos más compactos. El mecanismo de apuntadores utilizado por SDH, es una forma elegante de alinear los Contenedores Virtuales a la Trama SDH conforme atraviesan los diversos nodos de la red. SDH provee apuntadores de alto orden (AU-4) para permitir diferencias en fase y frecuencia de los Contenedores Virtuales (VC-4) con respecto a la trama STM-N y apuntadores de bajo orden (TU) para permitir diferencias de fase entre VC-1/VC-2 y VC-3/VC-4.

4.5.1 Apuntador AU-4

El apuntador AU-4 ó apuntador de alto orden, como su nombre lo indica, es un apuntador al primer byte del VC-4; por lo tanto, indica la posición donde comienza el VC-4 dentro de la trama SDH. De esta forma el VC-4 flota dentro de la trama STM-1.

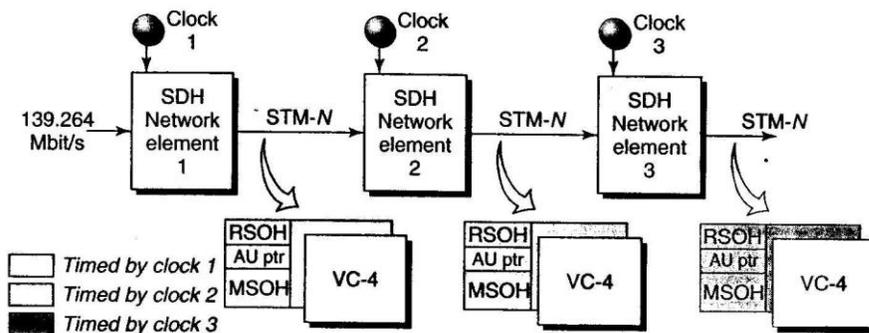


Fig. 4.9 Apuntador AU-4

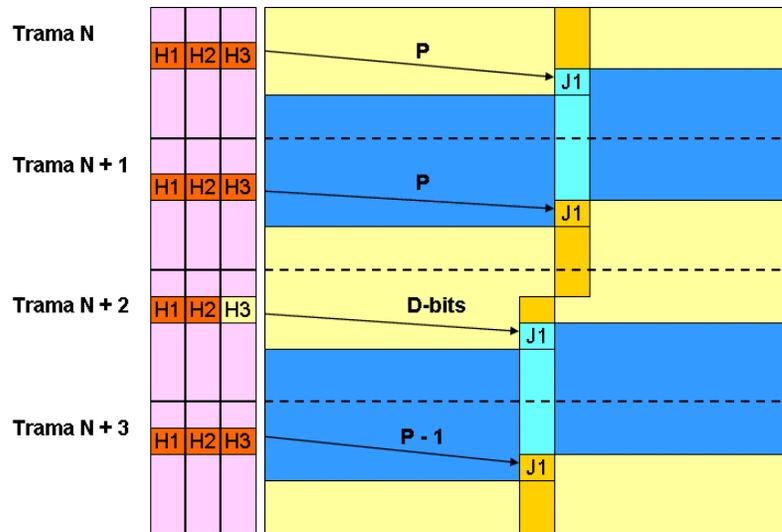


Fig. 4.12 Justificación negativa

4.5.2 Apuntador TU

Consiste de una secuencia de información que proporciona la alineación dinámica del VC dentro de la trama TU; de esta forma el VC puede “flotar” dentro de la trama TU.

El apuntador del TU ó apuntador de bajo orden indica dónde inicia el VC dentro de una multitrama TU conformada por 4 tramas. El apuntador del TU de orden 1.1, 1.2 y 2 se compone de 2 bytes llamados V1 y V2. Un tercer byte llamado V3 es utilizado para soportar la alineación dinámica del VC dentro de la multitrama TU. Dado que existe solo un apuntador por cada multitrama TU, entonces, una justificación afecta a cuatro tramas.

En la figura 4.24 se muestra una multitrama TU de orden 1.2 (TU-12).

- H4 - Es un byte que pertenece al Encabezado de Trayecto de Alto Orden e indica la secuencia de trama en el multitrama.

- V1 y V2 - Forman el apuntador TU de 16 bits. El apuntador es un número binario que se encuentra en los bits del 7 al 16.
- V3 - Provee un canal de 64 Kbits/seg para dar oportunidad a que el VC-4 flote dentro del TU.
- V4 – Sin uso. ¹⁸

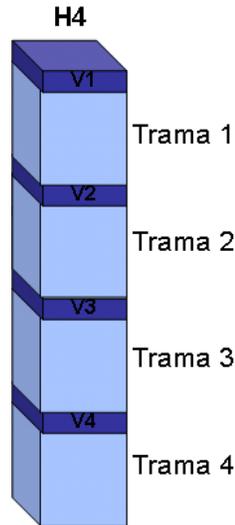


Fig. 4.13 Multitrama TU

4.6 Encabezados de sección (SOH)

Como ya lo hemos mencionado la trama STM-1 está estructurada como 270 columnas (bytes) por 9 filas en las que las nueve primeras columnas de la estructura corresponden con la cabecera de sección, y las restantes 261 columnas son el área de payload.

La jerarquía digital sincronía elimina la necesidad de un número de niveles menores de multiplexión definido en PDH. Los tributarios de 2 Mbps son multiplexados a nivel de STM-1 en un solo paso. El SOH es usado para el sistema de transporte individual para permitir el monitoreo de errores, la alarma de monitoreo y la administración de servicios y red. Este contiene 2 partes:

¹⁸ "SDH (Synchronous Digital Hierarchy)", Curso de actualización MetroNet, 2007

- Sección de regeneración (RSOH)
- Sección de multiplexaje (MSOH)

El RSOH está terminando en cada regenerador, mientras que el MSOH solo es terminado en el multiplexor y no es afectado por el regenerador. Esto facilita el monitoreo del camino entre los multiplexores separadamente de las secciones de regeneración individual.

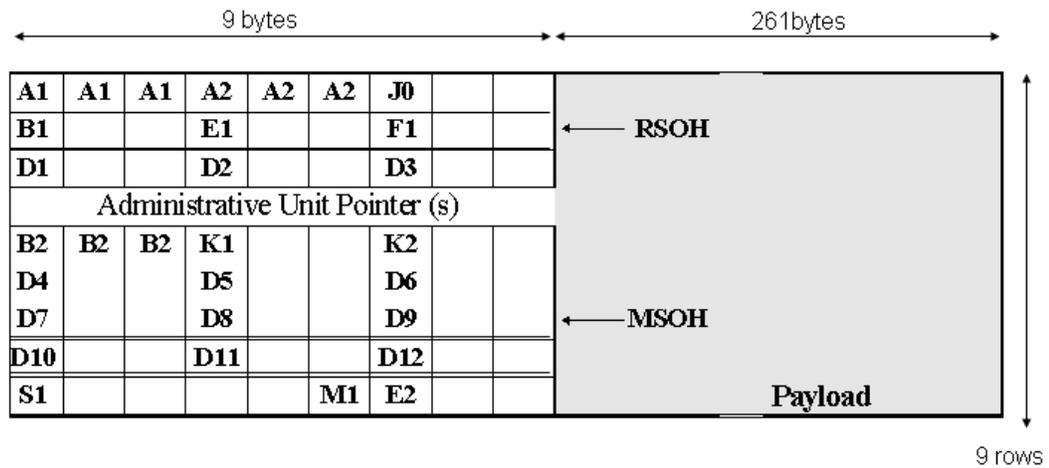


Fig. 4.14 Encabezados de sección de la trama STM-1

4.6.1 Bytes de encabezado de la sección de regeneración (RSOH)

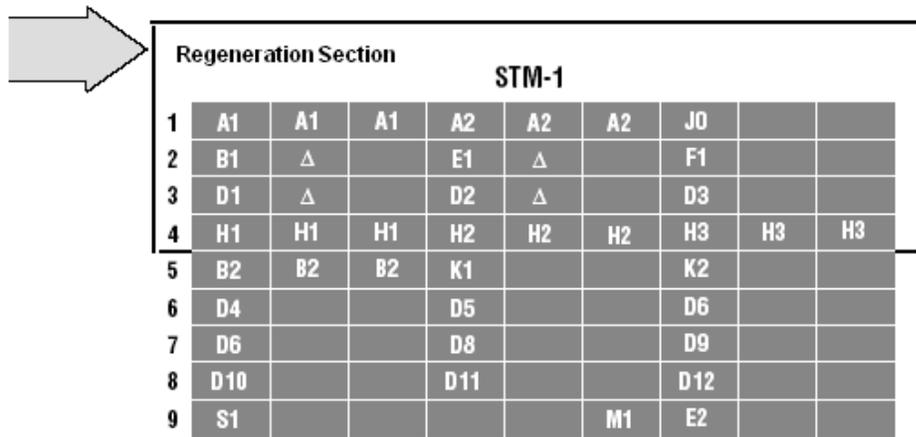


Fig. 4.15 Sección de Regeneración

4.6.1.1 Bytes A1, A2

Los bytes A1 y A2 viajan en el inicio de la trama SDH y transportan un patrón de bits fijo, el cual, es conocido tanto por el transmisor como por el receptor. Estos dos bytes indican el principio de la trama STM-N. Los bytes A1 y A2 son descifrados A1 tiene el código binario 11110110, y A2 tiene el código binario 00101000. El código de alineación de la trama en una trama STM-N es compuesta de (3 X N) los bytes A1 seguidos por (3 X N) los bytes A2. Lo anterior, permite que el receptor pueda identificar dónde inicia la trama SDH y así pueda ubicar la posición de cada uno de los bytes que componen a la trama SDH y con ello leerlos correctamente.

4.6.1.2 Byte JO

Regenerator Section Trace Message (identificador de fuente), es utilizado para transmitir una etiqueta desde el acceso de la sección identificación hacia el receptor, para que con ello pueda verificar su conexión con el transmisor destinado. La codificación del byte J0 es igual que para J1 y byte J2. Este byte es definido sólo para STM-1.

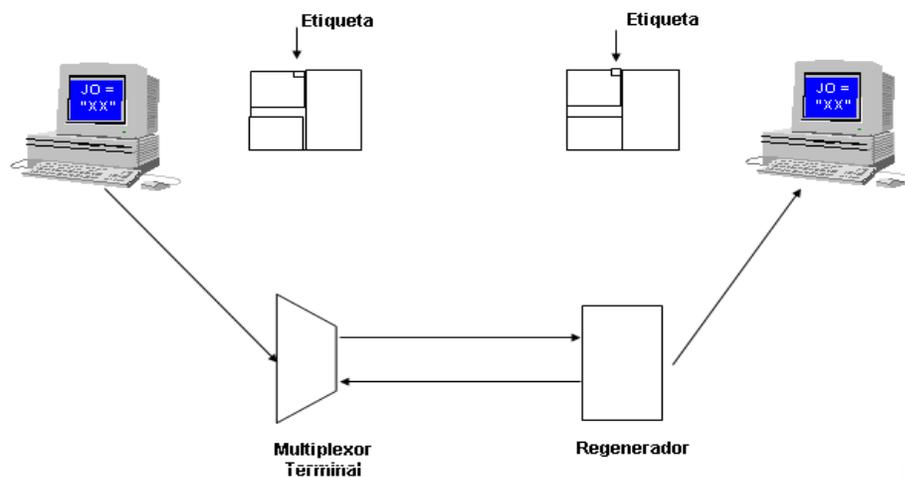


Fig. 4.16 Evaluación del valor JO recibido comparándolo con un valor esperado

4.6.1.3 Byte Z0

Estos bytes, que son situados en posiciones S [1,6N+2] a S [1,7N] de una señal STM-N, son reservados para una futura estandarización internacional.

4.6.1.4 Byte B1

RS bit interleaved parity code (BIP-8) byte. Este es un código de paridad para verificar errores de transmisión sobre la sección de regeneración.

Su valor es calculado sobre todos los bits de trama STM-N anterior, entonces es colocado en el byte B1 antes de insertar la trama STM-1. Por lo tanto, este byte es definido sólo para tramas STM-1.

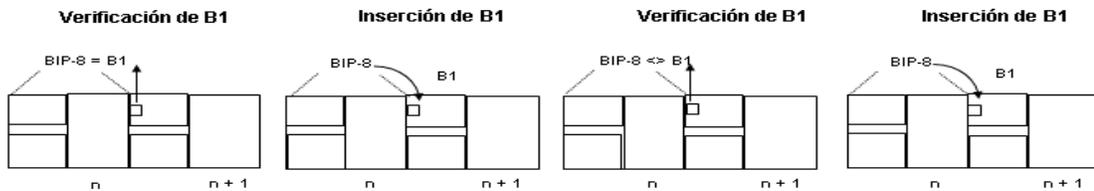


Fig. 4.17 Verificación de B1

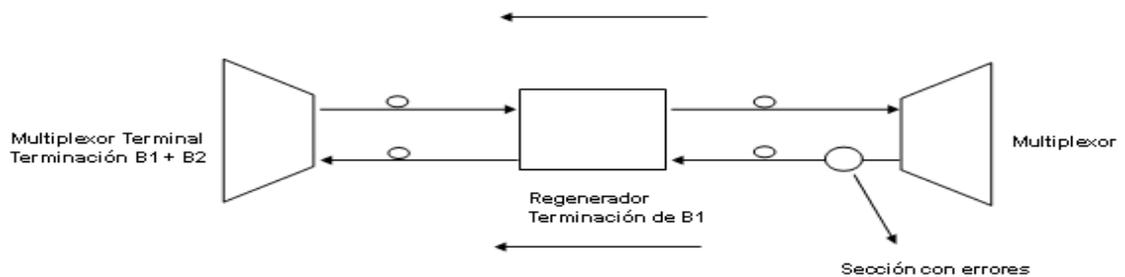


Fig. 4.18 Transmisión SDH con verificación de paridad

4.6.1.5 Byte E1

RS orderwire byte. Este byte es asignado para ser utilizado como un canal local de orderwire para comunicación de voz entre regeneradores.

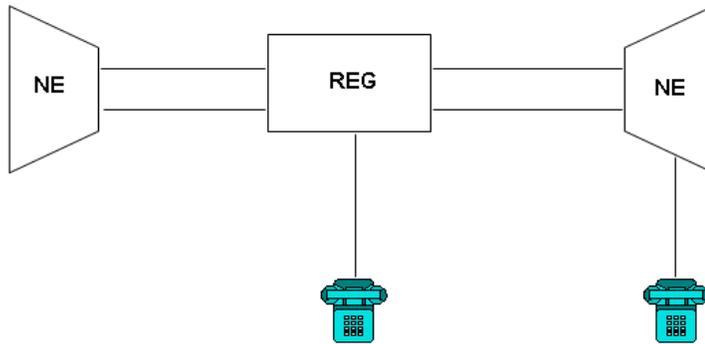


Fig. 4.19 RS Canal orderwire

4.6.1.6 Byte F1

RS user channel byte (64 kbps). Este byte es apartado para propósitos del usuario; puede ser leído y/o escrito a en cada sección de la línea por medio de cualquier terminal.

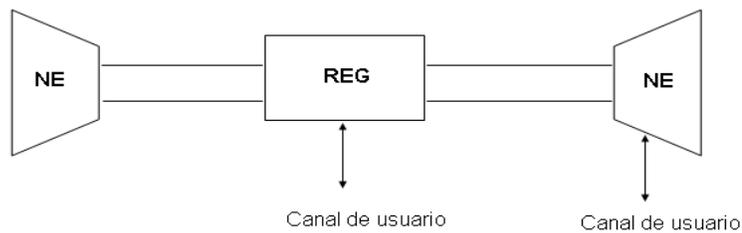


Fig. 4.20 Canal de usuario

4.6.1.7 Bytes D1-D3

RS Data Communications Channel (DCC) bytes. Estos tres bytes forman un canal de comunicación de datos de 192 kbit/s para la sección de regeneración. Este canal es usado para la gestión de red, operaciones, la administración y el mantenimiento (OAM), etc. El canal puede ser utilizado en una ubicación central para el control, para vigilar, para la administración, y para otras necesidades de comunicación.

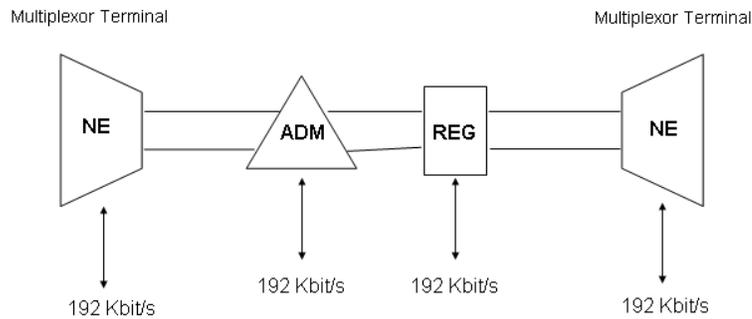


Fig. 4.21 RS DCC

4.6.2 Bytes de encabezado de la sección de multiplexaje (MSOH)

STM-1

1	A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0		
2	B1	Δ		E1	Δ		F1		
3	D1	Δ		D2	Δ		D3		
4	H1	H1	H1	H2	H2	H2	H3	H3	H3
5	B2	B2	B2	K1			K2		
6	D4			D5			D6		
7	D6			D8			D9		
8	D10			D11			D12		
9	S1					M1	E2		

Multiplex Section

Fig. 4.22 Sección de Multiplexaje

4.6.2.1 Byte B2

El BIP-24 se utiliza en la MSOH para el control de errores en la sección de multiplexor. Se utiliza el método Bip 24, se utiliza en todos los STM-1's, aunque estén entrelazados en un STM-N. No incluye en RSOH.

4.6.2.2. Bytes K1, K2

La Conmutación automática de la Protección (el canal de APS). Estos dos bytes son utilizados para MSP (Protección Múltiple de la Sección) señalando la conmutación automática bidireccional de la protección y para comunicar AIS (Alarm Indication Signal), así como las condiciones RDI (Remote Defect Indication).

MS-RDI es utilizado para dar una indicación de que se ha recibido información errónea o recibe MS-AIS. MS-RDI es generado insertando un "110" código en posiciones 6, 7, y 8 del byte K2 antes de subirse a la trama.

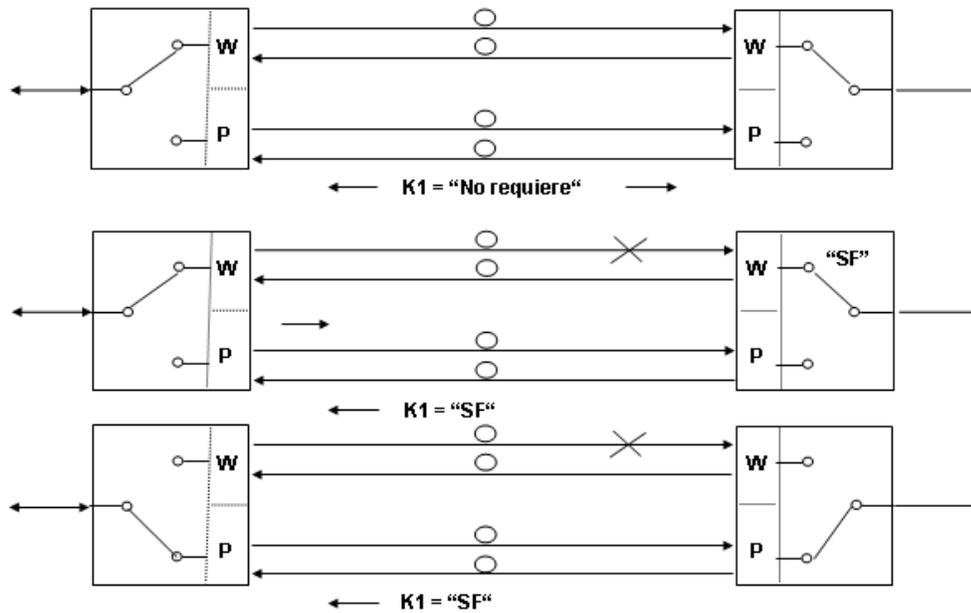


Fig. 4.23 Señalización MSP

K1 Byte		K2 Byte	
Bits 1-4	Type of request	Bits 1-4	Selects channel number
1111	Lock out of Protection	Bit 5	Indication of architecture
1110	Forced Switch	0	1+1
1101	Signal Fail – High Priority	1	1:n
1100	Signal Fail – Low Priority	Bits 6-8	Indicate mode of operation
1011	Signal Degrade – High Priority	111	MS-AIS
1010	Signal Degrade – Low Priority	110	MS-RDI
1001	(not used)	101	Provisioned mode is bi-directional
1000	Manual Switch	100	Provisioned mode is unidirectional
0111	(not used)	011	Future use
0110	Wait-to-Restore	010	Future use
0101	(not used)	001	Future use
0100	Exercise	000	Future use
0011	(not used)		
0010	Reverse Request		
0001	Do Not Revert		
0000	No Request		
Bits 5-8	Indicate the number of the channel requested		

Fig. 4.24 Descripción de los bits del byte K1, K2

4.6.2.3 Bytes D4-D12

MS Data Communications Channel (DCC) bytes. Estos nueve bytes forman un canal de 576 kbit/s. Dicho canal se encuentra en una ubicación central para la información de OAM (el control, el mantenimiento, aprovisionamiento remoto, vigila la administración y otras necesidades de comunicación).

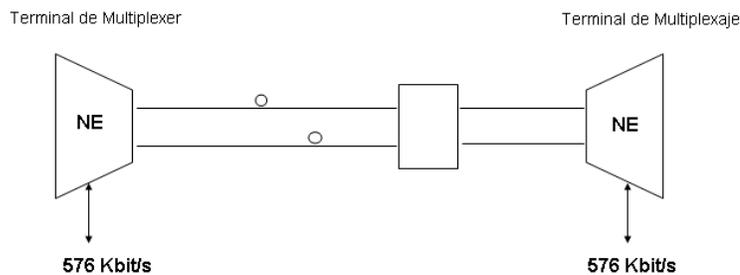


Fig. 4.25 MS DCC

4.6.2.4 Byte S1

Synchronization Status Message Byte (SSMB). De 5 a 8 bits de este byte son utilizados para llevar los mensajes de sincronización. Los bits son asignados por pautas a los cuatro niveles de la sincronización, aceptados por la UIT-T.

Bits 5-8

0000 Quality unknown (existing sync. Network)

0010 G-811 PRC

0100 SSU-A (G.812 transit)

1000 SSU-B (G.812 local)

1011 G.813 Option 1 Synchronous Equipment Timing Clock (SEC)

1111 Do not use for synchronization. Este mensaje puede ser emulado por fracasos de equipo y será emulado por una señal Múltiple de la Sección AIS.

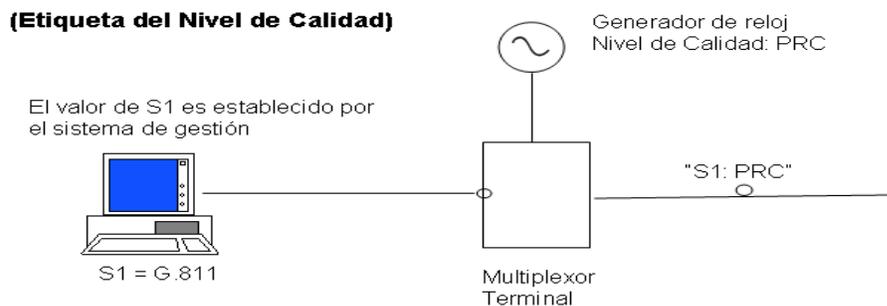


Fig. 4.26 S1 Mensaje de status de sincronía

4.6.2.5 Byte M1

MS Remote Error Indication. El byte M1 de una trama STM-1, o el primer STM-1 de una STM-N es utilizado en la capa MS-REI. Los Bits del 2 a 8 del byte M1 son utilizados para llevar el control del error de los bloques interpolados del bit que la MS BIP 24xN ha discernido para estar equivocado en el fin distante de la sección. Este valor es truncado en 255 para STM-N > 4.

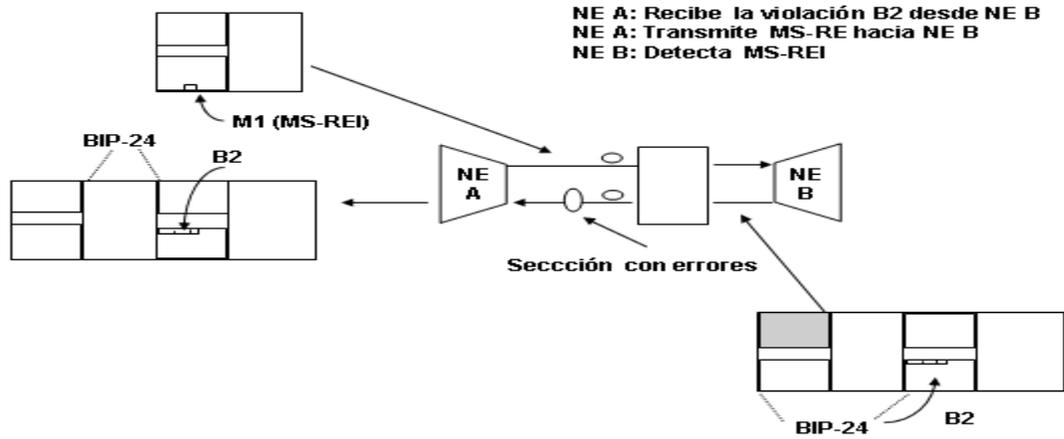


Fig. 4.27 Indicación de error remoto

4.6.2.6 Byte E2

MS orderwire byte; este byte de orderwire proporciona un canal de 64 kbit/s entre entidades múltiples. Es un canal de la voz para el uso por usuarios y puede conseguir acceso a en terminaciones múltiples de sección. ¹⁹

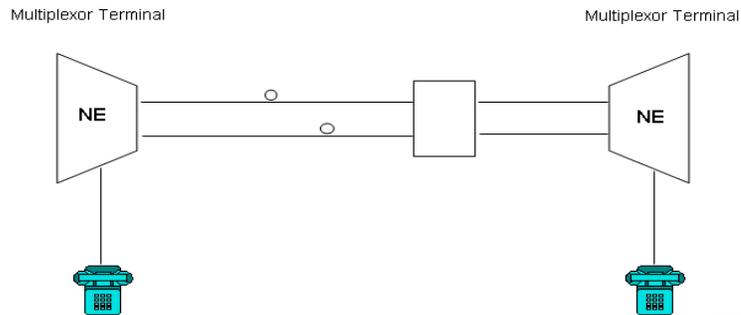


Fig. 4.28 MS orderwire

¹⁹ "SDH Telecommunicatios Standard Primer" Tektronix

4.7 Señales de mantenimiento SDH

La trama SDH ha sido diseñada para contener una gran cantidad de información de mantenimiento. Dicha información prevé una variedad de gestión y otras funciones como:

- Alarm Indication Signal (AIS)
- Error Performance Monitoring using BIP-N – Monitoreo de errores de desempeño usando BIP-N.
- Pointer Adjustment Information – Información de ajuste de apuntador
- Path Status
- Path Trace
- Section Trace
- Remote Defect, Error, and Failure Indications
- Signal Labels
- New Data Flag Indications
- Data Communications Channels (DCC)
- Automatic Protection Switching (APS) - Conmutación Automática de la Protección (APS)
- Orderwire
- Synchronisation Status Message - Mensaje de Estatus de Sincronización

Las señales de mantenimiento son usadas para el monitoreo y diagnóstico de fallas en las diferentes secciones de SDH, estas se pueden dividir en:

- Señales de Mantenimiento de Sección
- Señales de Mantenimiento de Trayecto de Alto Orden
- Señales de Mantenimiento de Trayecto de Bajo Orden

Las principales condiciones de alarma, tales como pérdidas de señal (LOS), pérdidas de trama (LOF) y pérdida de puntero (LOP), provocan la transmisión de señales de indicación de alarma (AIS) a la siguiente etapa de proceso.

Se generan distintas AIS, dependiendo del nivel de la jerarquía de mantenimiento en que se ve afectada. En respuesta a las diferentes señales AIS y a la detección de graves condiciones de alarma de receptor, se envían otras señales de alarma a las anteriores etapas del proceso para advertir de los problemas detectados en las siguientes etapas.

Esta señal se llama fallo de recepción en extremo remoto (FERF) se envía a etapas anteriores en el SOH de la sección multiplexora que haya detectado una condición de alarma AIS, LOS ó LOF; una condición de alarma remota (RAI) para un trayecto de orden superior se eleva después de que un equipo que termina un trayecto haya detectado una condición AIS o LOP de trayecto; de forma similar, una condición de alarma remota (RAI) para un trayecto de orden inferior se eleva después de que un equipo que termina un trayecto de orden inferior haya detectado una condición AIS o LOP de trayecto de orden inferior.

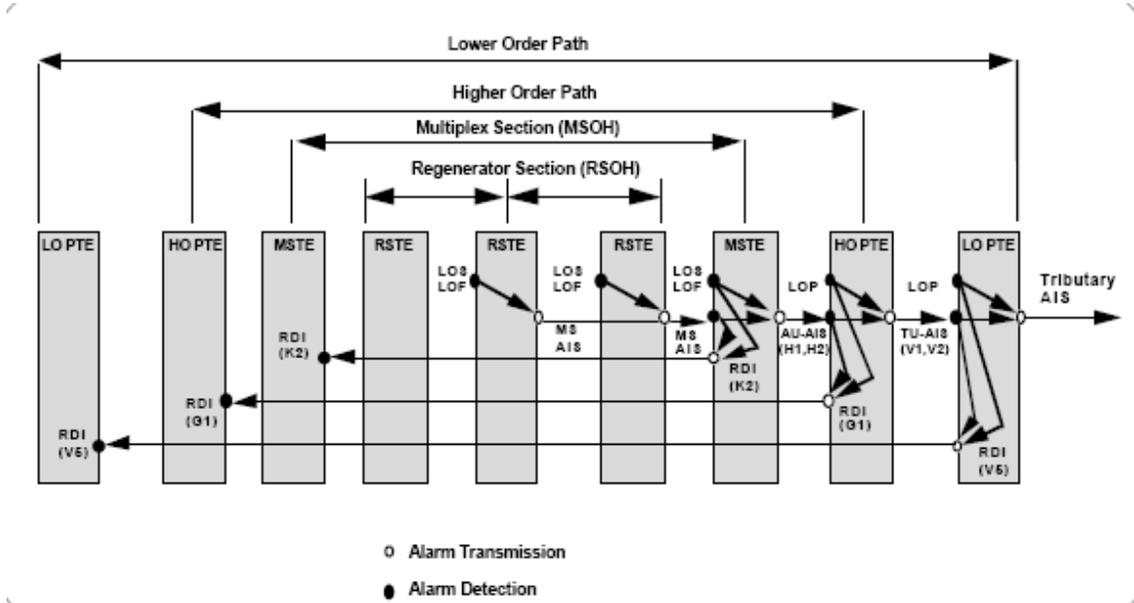


Fig. 4.29 Señales de mantenimiento

El monitoreo del rendimiento en cada nivel de la jerarquía de mantenimiento se basa en comprobaciones de paridad mediante entrelazado de bits (BIP) calculadas en cada trama. Estas comprobaciones BIP se insertan en los SOHs asociados a la sección de regeneración, la sección multiplexora y los tramos de mantenimiento de trayecto.

Asimismo, los equipos que terminan tramos de trayecto HO (orden superior) y LO (orden inferior) producen señales de error en bloque en extremo remoto (FEBE) en función de errores detectados en los BIPs de trayecto HO y LO, respectivamente. Las señales FEBE se elevan hasta el extremo de origen del trayecto.

Definiciones:

Alarma: Es una señal del mantenimiento utilizado en la red digital para poner sobre aviso una detección de falla del equipo o que un equipo ha sido discernido.

Anomalía: La más pequeña discrepancia que puede ser observada entre las características verdaderas y deseada. La ocurrencia de una sola anomalía no constituye una interrupción en la capacidad de realizar una función necesaria. Ejemplos de anomalías de SDH son:

- B1 BIP
- B2 BIP
- Path B3 BIP
- REI
- Pattern Bit (OOS test)

Defecto: La gran cantidad de anomalías ha alcanzado un nivel donde la capacidad de realizar una función necesaria ha sido interrumpida. Los defectos

son utilizados como entrada para el monitoreo del desempeño, el control de acciones consecuentes, y de la determinación de la causa del defecto. Ejemplos de Defectos de SDH son:

- OOF
- AIS
- RDI
- LOF
- LOP
- LOM

4.7.1 LOS (Loss of Signal)

Se accede al estado LOS cuando el nivel de la señal recibida desciende por debajo del valor esperado $BER=10^{-3}$. Se abandona el estado LOS cuando se reciben 2 patrones de trama válidos consecutivos (y durante este tiempo no se detecta una condición LOS).

4.7.2 OOF (Out of Frame)

Se accede al valor OOF cuando se reciben 4 tramas SDH consecutivas no válidas, es decir, que contienen errores. El tiempo máximo de detección de OOF es de 625 segundos. Se abandona este estado cuando se reciben 2 tramas SDH consecutivas válidas.

4.7.3 LOF (Loss of Frame)

Se accede al estado LOF cuando existe un estado OOF durante XXXX ms. Si los OOF son intermitentes, el temporizador no se restaura a cero hasta que un estado de “en trama” exista continuamente durante XXXX ms.

Se han puesto valores comprendidos entre 0-3 ms para los intervalos de tiempo especificados como XXXX.

4.7.4 LOP (Loss of Pointer)

Se accede a este estado cuando se reciben N punteros no validos consecutivos (excepto en un indicador de concatenación), donde N es igual a 8, 9 o 10. Se abandona el estado LOP cuando se reciben 3 punteros validos iguales o 3 indicadores AIS consecutivas. La indicación AIS consiste en una secuencia de “1’s” en los bytes del puntero. El indicador de concatenación consiste en los bytes del puntero ajustado a “1001XX1111111111”

4.7.5 AIS (Alarm Indication Signal)

AIS es una característica de una señal adaptada de información. Ha engendrado para reemplazar la señal de tráfico normal cuando la señal contiene una condición de defecto para prevenir fracasos consecuentes. AIS puede ser identificado como:

- MS-AIS (Multiplex Section Alarm Indication Signal)
- AU-AIS (Administrative Unit Alarm Indication Signal)
- TU-AIS (Tributary Unit Alarm Indication Signal)

4.7.6 REI (Remote Error Indication)

Una indicación regreso a un nodo de transmisión (la fuente), el bloque de errores ha sido discernido en el nodo recipiente. Esta indicación fue conocida anteriormente como FEBE (el Error Distante del Bloque del Fin). REI puede ser identificado como:

- MS-REI (Multiplex Section Remote Error Indication)
- HP-REI (Higher-order Path Remote Error Indication)
- LP-REI (Lower-order Path Remote Error Indication)

4.7.7 RDI (Remote Defect Indication)

Una señal regresa de la transmisión terminal del equipo al discernir una pérdida de señal, la pérdida de trama, o de defecto de AIS. La indicación RDI fue conocida anteriormente como FERF (Fracaso Final Distante de Receptor). RDI puede ser identificado como:

- MS-RDI (Multiplex Section Remote Defect Indication)
- HP-RDI (Higher-order Path Remote Defect Indication)
- LP-RDI (Lower-order Path Remote Defect Indication)

4.7.8 RFI (Remote Failure Indication)

Un fracaso es un defecto que persiste más allá del tiempo máximo asignado a los mecanismos de la protección del sistema de la transmisión. Cuando esta situación ocurre, un RFI es enviado y provocara la conmutación en la

protección, si esta función ha sido provisional. RFI puede ser identificado como:²⁰

LP-RFI (Lower-order Path Remote Failure Indication)

4.8 Ventajas de la tecnología SDH

- Es un estándar internacional para redes ópticas de telecomunicaciones de alta capacidad.
- Provee una infraestructura sencilla, económica y flexible para redes de Telecomunicaciones.
- Niveles de ruido muy bajos.
- Capacidad de transmitir a grandes distancias sin sufrir pérdidas de información.
- Capacidad de encriptar la información y de mandarla en forma de paquetes.²¹

²⁰ "SDH (Synchronous Digital Hierarchy)", Curso de actualización MetroNet, 2007

²¹ <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo7.htm>

Capítulo 5

Redes SDH de transporte

5.1 Introducción

Las redes de transporte juegan un papel muy importante en las telecomunicaciones de la actualidad, son las encargadas del envío y multicanalización de diversos tipos de información en diferentes formatos. Su evolución ha sido gradual, desde las primeras redes analógicas, las digitales, hasta las redes ópticas. Así tenemos las redes como ISDN y E1 basadas en líneas de cobre, así como las redes de transporte basadas en fibra óptica como SDH.²²

SDH es la tecnología dominante en la capa física de transporte de las actuales redes de fibra óptica de banda ancha. SDH es un protocolo de transporte (primera capa en el modelo OSI) basado en la existencia de una referencia temporal común, que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común flexible, y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica, con mecanismos internos de protección.²³

La demanda de servicios de telecomunicaciones crece y se diversifica. El tráfico no para de incrementarse e incluso satura capacidades de las redes actuales. El mercado demanda la extensión de las Redes Metropolitanas. Sin embargo,

²² http://www.eveliux.com/mx/index.php?option=com_content&task=view&id=22

²³ <http://www.esnips.com/web/ApoyoparaRedesSDH>

son tiempos difíciles para las operadoras, hay que rentabilizar las cuantiosas inversiones realizadas y los precios de los servicios cada vez son más bajos. El gran problema es que las redes existentes no están orientadas a los nuevos servicios; la solución inmediata es la adaptación de las redes actuales a los nuevos servicios, con el fin de cubrir tanto la demanda creciente de capacidad como el mercado emergente de servicios puramente ópticos.²⁴

5.2 Elementos de una red SDH

Como en cualquier red TDM, los elementos de una red SDH son:

- Regenerador (REG)
- Multiplexor Terminal (TM)
- Multiplexor de Inserción y Derivación (ADM)
- Cross-conector SDH (DXCs)

5.2.1 Regenerador (REG)

El Regenerador (REG) como su nombre lo indica, regenera la señal degradada recibida por uno de sus puertos y la transmite por otro puerto ya libre de degradación y distorsión. El regenerador es utilizado en enlaces de larga distancia, cuando la señal óptica sufre tanta atenuación que sería imposible que el elemento final pueda entender la información.



Fig. 5.1 Regenerador

²⁴ <http://www.rediris.es/rediris/boletin/66-67/ponencia5.pdf>

5.2.2 Multiplexor Terminal (TM)

Este elemento actúa como un concentrador de las señales tributarias, realiza la transformación de la señal eléctrica en óptica y viceversa, esto debido a que está compuesto por un MUX y un DMUX.

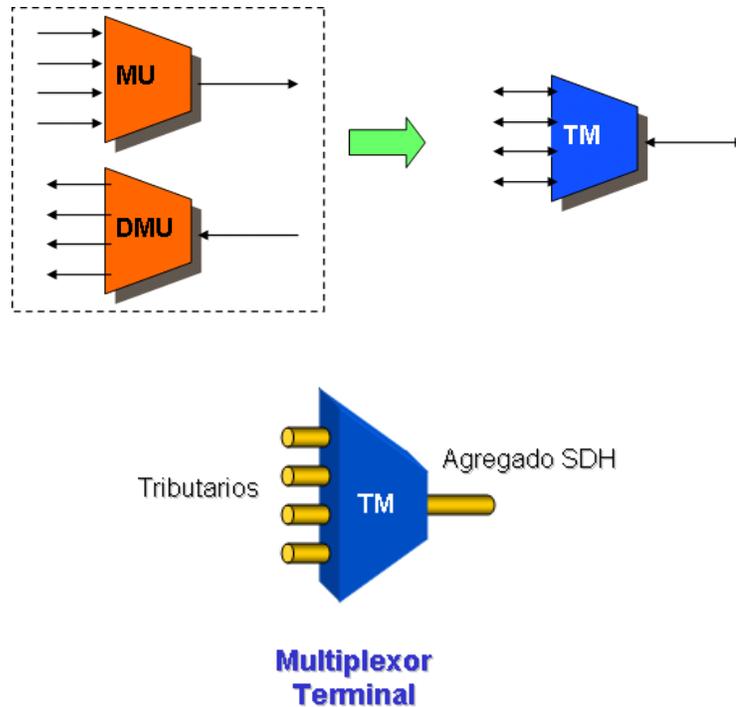


Fig. 5.2 Multiplexor Terminal

Por ejemplo, dos multiplexores terminales unidos por una fibra con o sin un regenerador intermedio conforman el más simple de los enlaces de SDH ya que con este tipo de elementos solo podemos construir topologías en cadena.

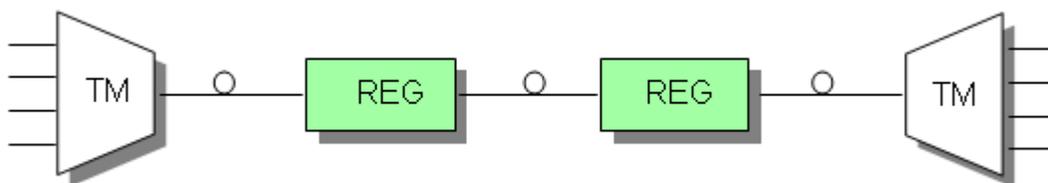


Fig. 5.3 Enlace básico SDH con TM y REG

Algunos flujos tributarios serán combinados en el terminal de línea (TM) para generar un flujo agregado de mayor velocidad y esto será transmitido a un enlace óptico.

5.2.3 Add and Drop Multiplexer (ADM)

El multiplexor de inserción y derivación (ADM) permite extraer (Drop) en un punto intermedio de una ruta parte del tráfico cursado y a su vez inyectar (Add) nuevo tráfico desde ese punto. En los puntos donde tengamos un ADM, solo aquellas señales que necesitemos serán descargadas o insertadas al flujo principal de datos.

El ADM contiene dos interfaces ópticas a las cuales se conoce como agregados y por norma son nombrados EAST y WEST. También contiene “n” puertos eléctricos a los cuales se les conoce como tributarios; el número de puertos tributarios puede variar de acuerdo al fabricante.

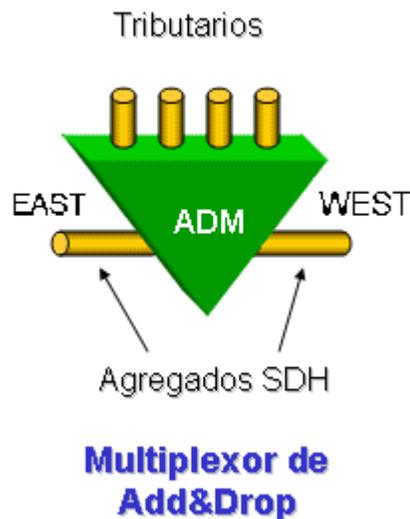


Fig. 5.4 Multiplexor de inserción y derivación

Una matriz de cross-conexión (XC) es incorporada al ADM para dar flexibilidad a la configuración de cross-conexiones. Con el uso de este tipo de elementos,

en una red SDH es posible extraer un contenedor virtual e insertar en sentido contrario otro contenedor virtual a la señal STM-N directamente. Esta ventaja fundamental de los sistemas síncronos significa que es posible conectar flexiblemente señales entre interfaces de elementos de red (agregados o tributarios). Esta capacidad de enrutamiento permite que la función de cross-conexión sea distribuida por la red, resultando mejor que concentrarla en un enorme cross-conector dedicado.

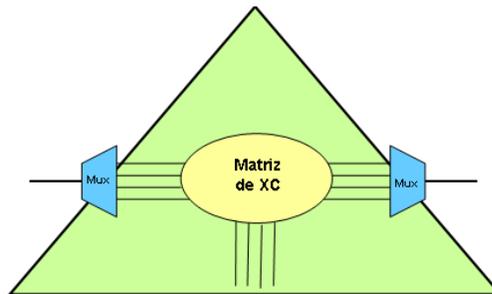


Fig. 5.5 Configuración interna de un ADM

Para poder ofrecer protección de tráfico, la matriz del ADM transmisor debe duplicar la información hacia dos tramas distintas.

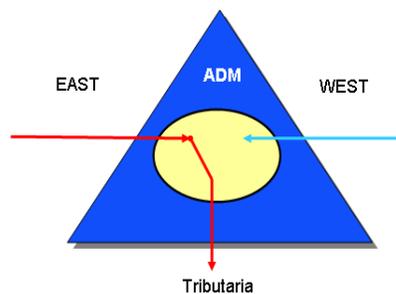


Fig. 5.6 Configuración interna de ruta de trabajo de un ADM

En caso de presentarse un corte de fibra, el switch de la matriz del ADM deberá conmutar hacia la trama de protección; obviamente, la conmutación se presenta tanto en el ADM transmisor como en el receptor.

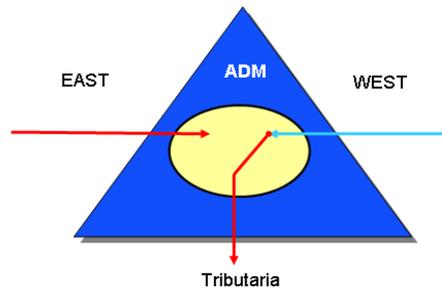


Fig. 5.7 Configuración interna de ruta de protección de un ADM

Con el uso de ADMs podemos reducir la cantidad de enlaces físicos requeridos en una red a través del establecimiento de enlaces lógicos. Debido a que permiten insertar o extraer señales plesiócronicas y síncronicas de menor velocidad binaria en el flujo de datos SDH de alta velocidad; los ADM son particularmente útiles para crear redes en anillo, estas estructuras ofrecen la posibilidad de conmutar automáticamente a un trayecto de reserva en caso de fallo de alguno de los elementos del trayecto.

5.2.4 Cross-Conector (DXC)

Los Cross-conectores Digitales o DXCs son dispositivos que realizan la función de conmutación de canales TDM permitiendo la interconexión de subredes.

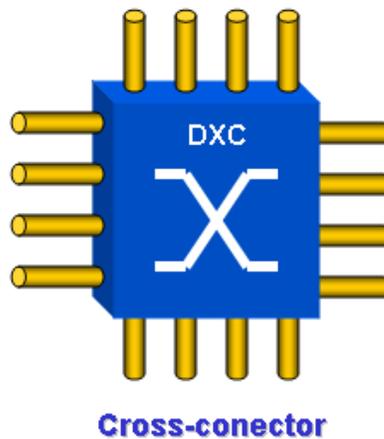


Fig. 5.8 Cross-conector

Las cross-conexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semi-permanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual. Si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando cross-conexiones.

Esta descripción podría sugerir que una cross-conexión es similar a una conmutación de circuito, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La principal diferencia es que una conmutación trabaja como una conexión temporal la cual se realiza bajo el control de un usuario final, mientras que una cross-conexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semi-permanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión.

El operador cambiará esta conexión semi-permanente según cambie el patrón del tráfico. El grooming se produce cuando el tráfico incidente, el cual es dirigido hacia diversos destinos es reorganizado. El tráfico para destinos específicos es reordenado en caminos junto con otro tráfico para ese destino.²⁵

5.3 Topologías de red

La forma de conectar entre sí los elementos de red proporciona la topología de la red SDH, la cual puede ser muy variada. De este modo, se pueden tener topologías en:

- punto a punto
- cadena
- anillo
- malla

²⁵ <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo7.htm>

De entre todas ellas, la más común utilizada en la tecnología SDH es la de anillo.

5.3.1 Topología punto a punto

Un enlace Punto a Punto SDH está compuesto de dos Multiplexores Terminales y tal vez de uno o más regeneradores. Con los Multiplexores es posible crear varios enlaces lógicos dentro de un solo enlace físico.

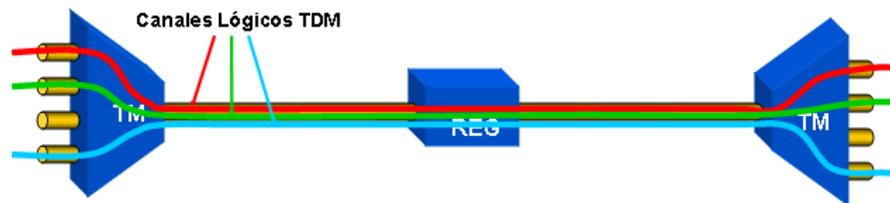


Fig. 5.9 Topología punto a punto

5.3.2 Topología en cadena

Los multiplexores de Add/Drop (ADMs) permiten reducir la cantidad de enlaces físicos requeridos en una red. Esta topología está formada principalmente por dos Multiplexores Terminales (TMs), un Regenerador si es necesario y de un ADM.

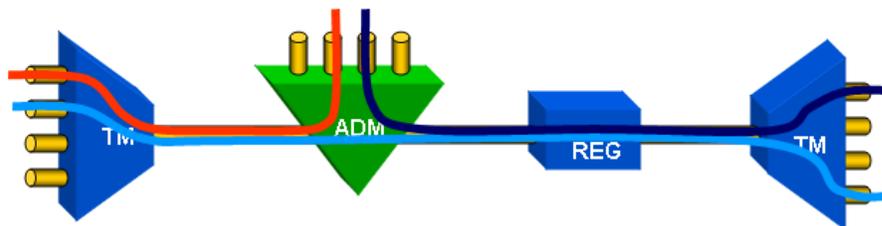


Fig. 5.10 Topología en cadena

5.3.3 Topología en anillo

El elemento principal en una arquitectura de anillo es el ADM. Se pueden colocar varios ADM en una configuración en anillo para tráfico bidireccional o unidireccional. La principal ventaja de la topología de anillo es su seguridad; si un cable de fibra se rompe o se corta, los multiplexores tienen la inteligencia necesaria para desviar el tráfico a través de otros nodos del anillo sin ninguna interrupción.

La demanda de servicios de seguridad, diversidad de rutas en las instalaciones de fibra, flexibilidad para cambiar servicios para alternar los nodos, así como la restauración automática en pocos segundos, han hecho de la arquitectura de anillo una topología muy popular en SDH.

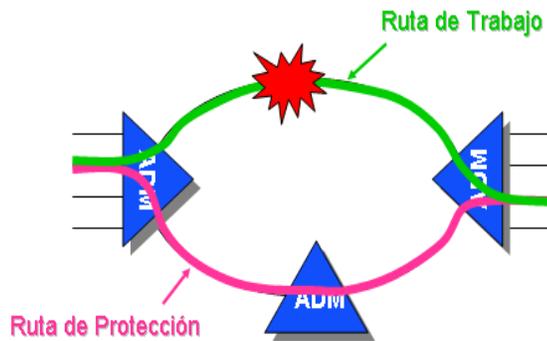


Fig.5.11 Topología en anillo

5.3.4 Topología en malla.

En ésta topología, cada nodo de red puede conectarse con cualquier otro por medio de DXCs. En una topología en malla, cada equipo está conectado a todos los demás equipos. Esta topología permite gran número de rutas alternativas en caso de caída de algún elemento de red o de corte de alguna fibra.

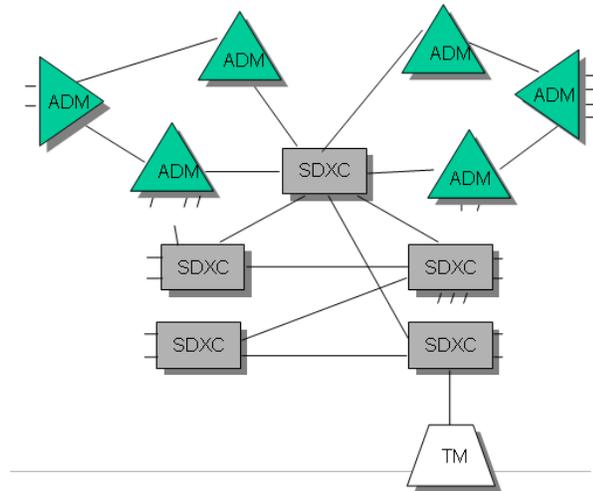


Fig. 5.12 Topología en malla

Aunque la facilidad de solución de problemas y el aumento de la fiabilidad son ventajas muy interesantes, estas redes resultan caras de instalar, ya que utilizan mucho cableado. En muchas ocasiones, la topología en malla se utiliza junto con otras topologías para formar una topología híbrida.²⁶

5.4 Tipos de conexiones

En una red SDH podemos establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- *Unidireccional* es una conexión de una vía a través de los elementos de red SDH, por ejemplo enviar tráfico únicamente.
- *Bidireccional* es una conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.
- *Extrae y continúa (Drop & Continue)* es una conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero ésta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Estas conexiones pueden ser usadas para difusiones y mecanismos de protección.

²⁶ https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba07_08/slides/24-TopologiasSDH.pdf

- *Difusión (Broadcast)* es una conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el contenedor virtual.

5.5 Esquemas de protección

La gran capacidad de los enlaces SDH hace que un simple fallo en el enlace pueda tener un impacto nocivo en los servicios proporcionados por la red si no se dispone de una protección adecuada.

Una red resistente que asegure el tráfico que porta y que puede restaurarlo automáticamente ante cualquier evento de fallo es de vital importancia. Los sistemas de transmisión SDH permiten desplegar esquemas de protección estándar.

Los procedimientos de protección de red son empleados para auto-recuperarse de fallos de red del estilo de un fallo de enlace o elemento de red. Lo que efectivamente ocurre es que un elemento de red detectará un fallo o una pérdida de tráfico e iniciará acciones correctivas. Hay muchos mecanismos de protección definidos por los organismos de estandarización. En una red SDH es posible proteger el tráfico haciendo uso de alguno de los siguientes esquemas:

- Protección de línea - Protege toda la interfaz SDH ante la ocurrencia de fallas en la misma:
 - MSP 1 + 1
 - MSP 1:N

- Protección de trayectoria - Permite la protección extremo-extremo de un VC o conjunto de VC's ante la falla en alguna de las trayectorias del enlace:

- SNC-P
- MS-SPRING

El tipo de esquema de protección empleado viene usualmente dictado por la arquitectura de red.²⁷

5.5.1 Protección de línea de la sección de multiplexaje (MSP)

MSP protege tráfico entre dos elementos de red adyacentes, pero únicamente el enlace entre esos dos nodos, no aportando protección ante un fallo total de un elemento de red. Otra limitación es que requiere de diversos caminos físicos para fibra activa y de protección. Si ambas fibras se encuentran en la misma conducción y ésta es dañada, los dos caminos, el operativo y el de protección, se perderían.

Dos rutas alternativas deben ser dispuestas entre dos nodos adyacentes. Estas consideraciones se han de tener en cuenta cuando desplegamos este tipo de esquema de protección.

La protección lineal de la sección de multiplexación es típicamente usada para redes lineales malladas. Los diversos caminos físicos son, sin embargo, requeridos haciendo que la malla sea incrementalmente más compleja a medida que crece. Ante la escasez de fibra convertida en una situación crítica muchos operadores han optado por el despliegue de anillos. Los anillos

²⁷ <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo8.htm>

aseguran que entre cada par de nodos hay un camino físico diferente que puede ser usado como ruta de protección. Hay dos tipos diferentes de protección de Sección de multiplexación (MSP):

- MSP 1+1
- MSP 1:N

5.5.1.1 Protección MSP 1+1

En MSP 1+1, el tráfico es inicialmente enviado tanto por la ruta activa como por la ruta de protección. Si se detecta una pérdida de tráfico, en el extremo receptor se comienza un proceso de conmutación hacia el camino de protección. No hay necesidad de enviar señalización hacia atrás, aunque de todos modos, la sección de stand by no puede ser utilizada para otro tráfico presentando unos altos requerimientos de capacidad de fibra.

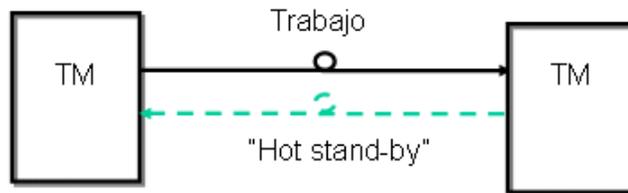


Fig. 5.13 Protección MSP 1+1

5.5.1.2 Protección MSP 1:N

MSP 1:N, es un esquema de doble extremo. El tráfico es inicialmente enviado por varios enlaces activos (canales operativos) únicamente. Se detecta un fallo de alguno de los canales operativos en el extremo contrario cuando no recibimos tráfico por un periodo prolongado de tiempo. Una señal es enviada al

extremo transmisor que dispara la conmutación del canal con fallo, enviando el tráfico hacia la línea de back-up en ambos extremos. ²⁸



Fig. 5.14 Protección MSP 1:N

5.5.2 Protección de trayecto VC dedicado

Este tipo de protección implica duplicar el tráfico en forma de contenedores virtuales los cuales son introducidos en la red y transmitiendo esta señal simultáneamente en dos direcciones a través de la red. Un camino de protección dedicado porta el tráfico en una dirección y el camino operativo porta la señal a través de otra ruta diferente. El elemento de red que recibe las señales compara la calidad de los dos caminos y la señal de mayor calidad es seleccionada. Ésta será nombrada como la ruta activa. Ante un evento de fallo en la ruta activa el extremo receptor conmutará al otro camino, a la ruta de protección.

Esto protegerá a los mismos enlaces por sí mismos, pero también protegerá contra fallos de un nodo intermedio. Un ejemplo especial de este tipo de mecanismo es el anillo de camino de protección. Según el tráfico que entra al anillo es transmitido simultáneamente en ambas direcciones en torno al anillo. La selección es hecha por el nodo de salida de la mejor de las dos conexiones.

²⁸ <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo9.htm>

El mecanismo puede ser aplicado a anillos y también circuitos punto a punto a través de redes malladas o mixtas mediante muchos elementos de red y subredes intermedias. Hay dos tipos diferentes de protección de trayectoria para VC's:

- SNC-P
- MS-Spring

5.5.2.1 Protección de Conexión de Subred (SNC-P)

SNC-P puede ser iniciada en un extremo de la ruta y llegar hasta un nodo intermedio. La red puede ser descompuesta con un número de subredes interconectadas.

Con cada protección de subred se proporciona un nivel de ruta y la conmutación automática de protección entre dos caminos es proporcionada en las fronteras de subred. La selección de la señal de mayor calidad se realiza, no únicamente por el elemento de red en el extremo del camino, sino que también en nodos intermedios a la salida de cada subred que es atravesada por la ruta. El contenedor virtual no termina en el nodo intermedio, en cambio compara la calidad de la señal en los dos puertos entrantes y selecciona la señal de mejor calidad.

Ante un evento de dos fallos simultáneos, la conmutación de protección debe ocurrir en el nodo intermedio "A" para que el tráfico alcance el extremo contrario. SNC-P genera una alta disponibilidad para la conexión que el camino dedicado porque SNC-P permite a la red sobreponerse a dos fallos simultáneos cosa que el camino de protección no permite.

En principio, el camino de protección extremo a extremo parece tener mucho atractivo; una amplia protección en redes extremo a extremo es posible y las rutas individuales pueden ser selectivamente protegidas. Aun así, es requerido un complejo control que asegure realmente diversas rutas.

Una gran cantidad de capacidad es usada y es muy difícil de coordinar actividades de mantenimientos programados a lo largo de la red. El camino de protección llega a ser, de todos modos, cuando queda limitado al nivel de subred, es decir, SNCP. Este esquema de protección trabaja especialmente bien sobre anillos, porque se aseguran diversas rutas de fibra. La resistencia puede ser ofrecida a un número de capas incluyendo el camino extremo a extremo (trazado), el nivel de subred y el nivel de sección de multiplexación. Los mecanismos descritos anteriormente ofrecían protección a la ruta extremo a extremo y al nivel de subred.

Esto involucra la protección de contenedores virtuales individuales a través de una ruta punto a punto. Si existe un evento de fallo, únicamente el contenedor virtual en cuestión es conmutado a una ruta alternativa, así que la protección individual para un único VC es posible.

Para el esquema de protección SNC, existen dos modos de operación:

- Monitoreo inherente (SNC/I)
- Monitoreo no intrusivo (SNC/N)

5.5.2.1.1 Monitoreo Inherente (SNC/I)

En trayectos de bajo orden la conmutación se origina cuando se detecta un:

- TU-LOP

- TU-AIS

En trayectos de alto orden la conmutación se origina cuando se detecta un:

- AU-LOP
- AU-AIS

5.5.2.1.2 Monitoreo No Intrusivo (SNC/N)

En trayectos de bajo orden la conmutación se origina cuando se detecta un:

- TU-LOP
- TU-AIS
- Tasa de errores excesiva
- LP-TIM

En trayectos de alto orden la conmutación se origina cuando se detecta un:

- AU-LOP
- AU-AIS
- Tasa de errores excesiva
- HP-TIM

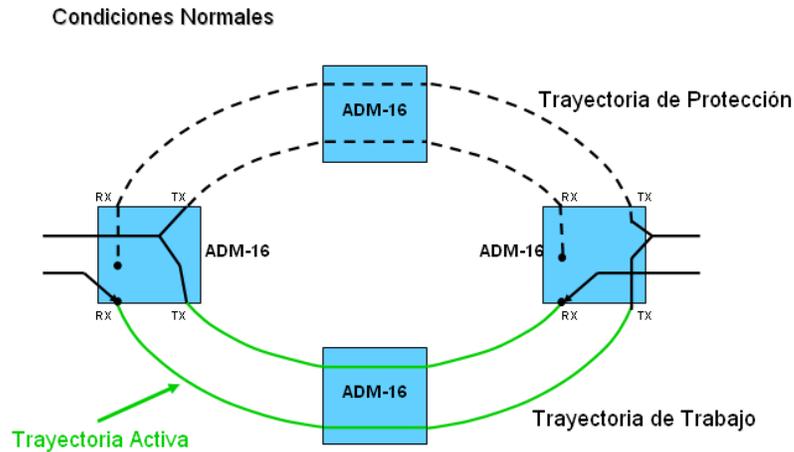


Fig. 5.15 Protección SNC en condiciones normales

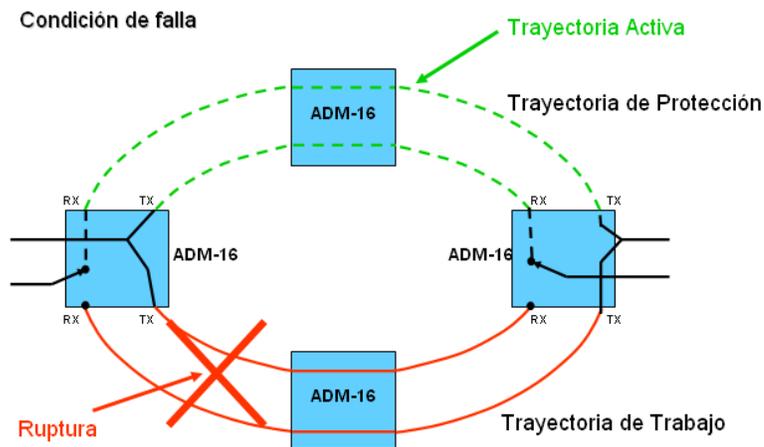


Fig. 5.16 Protección SNC en condiciones de falla

5.5.2.2 Protección MS-Spring (Anillos de Protección Compartida de la Sección de Multiplexaje)

Los procedimientos de protección de anillos auto-recuperables se están convirtiendo rápidamente en comunes, porque proporcionan diversas rutas de protección y por tanto, un uso eficiente de la fibra.

Los anillos de protección compartida de la sección de multiplexación, comúnmente llamados "MS-Spring" son unos mecanismos de protección de

anillo. A diferencia del anillo de protección dedicado, el tráfico es enviado solo por una ruta en torno al anillo. No existe un camino de protección dedicado por cada ruta en producción, en cambio está reservada capacidad del anillo para protecciones y esta puede ser compartida para la protección de diversos circuitos en producción.

La conmutación de protección es iniciada a nivel de sección de modo similar a la protección lineal para la sección de multiplexación; ante un evento de fallo, todo el tráfico de la sección es conmutado. Este mecanismo se puede llevar a cabo salvando una importante cantidad de capacidad frente al mecanismo de anillo de protección dedicado, permitiendo al operador incrementar el número de circuitos activos en el anillo.

- Provee protección en una configuración de anillo
- La protección la ofrece en el nivel de multiplexaje (AU4), por lo tanto, no funciona para proteger TU's individualmente.
- Utiliza la mitad de la capacidad del canal como una ruta compartida para la protección de tráfico.
- En condiciones normales, el canal de protección puede utilizarse para transmitir tráfico de baja prioridad.

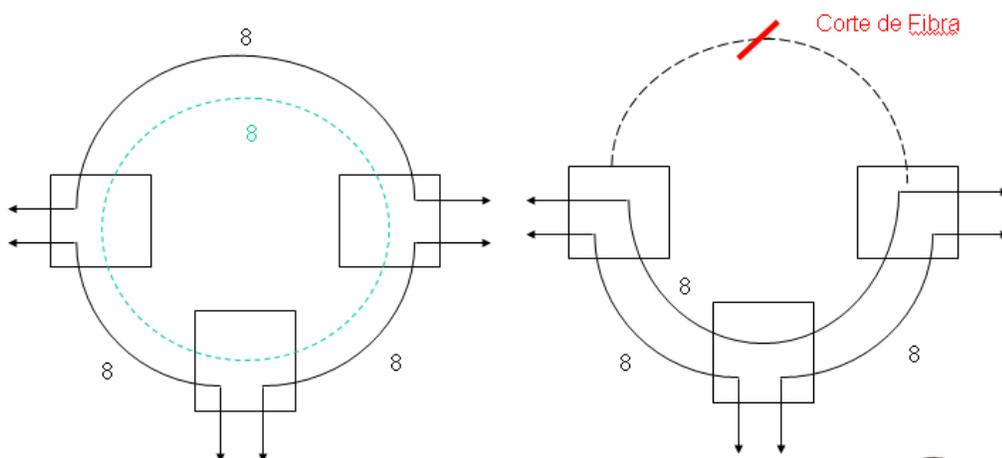


Fig. 5.17 Protección MS-Spring

En el esquema de protección MS-Spring a pesar de que la mitad de la capacidad del anillo es reservada para proteger tráfico, a diferencia del esquema SNC se puede transportar en ciertos casos un ancho de banda total superior a la capacidad del anillo SDH.²⁹

5.6 Aplicaciones de redes SDH

Las redes ópticas que hoy en día soportan servicios que requieren grandes anchos de banda, son las basadas en SDH; es por ello que empiezan a ganar mercado en el cual hoy en día las exigencias de los clientes provocan que las redes que no son aptas para ello desaparezcan.

Una red que proporcione robustos anchos de banda, seguridad e integridad de la información, disponibilidad del servicio, protección de tráfico, etc.; se convierte en una red atractiva para los clientes. Las redes SDH de transporte brindan dichas características, es por ello que las empresas propietarias de este tipo de redes se fortalecen y crecen de manera importante en el exigente mercado de las Telecomunicaciones.

Instalar una red óptica en una zona metropolitana actualmente es difícil debido al crecimiento de las mismas y la gran cantidad que existe ya de infraestructura de red instalada por diferentes proveedores de servicios ópticos de transporte. Los carriers que no cuentan con una infraestructura de red, para proporcionar servicio a sus clientes tienen que hacer uso de los servicios de transporte de los propietarios que cuentan con infraestructura ya instalada, a quienes se les conoce como “carrier de carriers”.

Las redes SDH se han vuelto las favoritas de los carriers para el transporte de servicios a sus usuarios finales de manera eficiente; los servicios que suelen

²⁹ <http://www.mailxmail.com/cursos/informatica/sdh/capitulo10.htm>

transportar son: telefonía, internet de banda ancha, VoIP, HDTV, etc. Es por ello que el compromiso de los proveedores de servicios de transporte a través de redes SDH para con sus clientes es garantizar la disponibilidad del servicio y confidencialidad de la información.

Capítulo 6

Diseño e implementación del proyecto

6.1 Introducción

SDH es la tecnología dominante en la capa física de transporte de las actuales redes de fibra óptica de banda ancha. SDH es un protocolo de transporte (primera capa en el modelo OSI) basado en la existencia de una referencia temporal común que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común flexible y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica con mecanismos internos de protección.³⁷

La demanda de servicios de telecomunicaciones crece y se diversifica. El tráfico no para de incrementarse e incluso satura capacidades de las redes actuales. El mercado demanda la extensión de las Redes Metropolitanas. Sin embargo, son tiempos difíciles para las operadoras, hay que rentabilizar las cuantiosas inversiones realizadas y los precios de los servicios cada vez son más bajos. El gran problema es que las redes existentes no están orientadas a los nuevos servicios; la solución inmediata es la adaptación de las redes actuales a los nuevos servicios, con el fin de cubrir tanto la demanda creciente de capacidad como el mercado emergente de servicios puramente ópticos.³⁸

³⁷ <http://www.esnips.com/web/ApoyoparaRedesSDH>

³⁸ <http://www.rediris.es/rediris/boletin/66-67/ponencia5.pdf>

6.2 Antecedentes

Partamos del hecho de que una empresa de telecomunicaciones en 1997 obtuvo por parte de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte una concesión que le permite actualmente operar y explotar una red metropolitana de fibra óptica, basada en la tecnología SDH y respetando los estándares y especificaciones de la ITU-T.

Dicha red es totalmente propietaria, es decir, toda la infraestructura de red es propiedad de la empresa.

La empresa presta servicios de transporte de información crítica a diferentes carriers; un carrier es una compañía de telecomunicaciones prestadora de servicios telefónicos a los clientes ó usuarios finales.

6.3 Topología de red

La infraestructura de la red se basa principalmente en cables de fibra óptica tendidos estratégicamente por postería o ductos subterráneos que interconectan equipos de telecomunicaciones en configuración de anillo, la cobertura de red se encuentra en las principales zonas corporativas del D.F. y Zona Metropolitana, entre las principales:

- Constituyentes
- Cuautitlán
- Chapultepec
- Ecatepec
- Insurgentes
- Interlomas
- Naucalpan

- Periférico
- Polanco
- Reforma
- Santa Fé
- Tlalnepantla
- Tlalpan
- Vallejo
- Zona Centro de la Cd. de México

La parte lógica de la red basa su operación principal en dos equipos cross-conectores (DXC's) los cuales toman el papel de nodos principales, uno espejo del otro (Nodo "A" y Nodo "B"). Dichos nodos tiene la función de conectar lógicamente subredes (anillos lógicos). Los anillos lógicos pueden ser de nivel STM-1 y STM-4 para acceso o usuarios finales y de nivel STM-16 para entrega o carriers. Dichos anillos se utilizan de la siguiente manera:

- Anillos lógicos de nivel STM-1 para acceso en tráfico de E1's
- Anillos lógicos de nivel STM-4 para acceso en tráfico de E3, DS3 y STM-1
- Anillos lógicos de nivel STM-16 para entrega en tráfico de E1, E3, DS3, STM-1 y STM-4.

Geográficamente la red se divide en anillos norte y anillos sur. Lo anterior se observa en la siguiente figura:

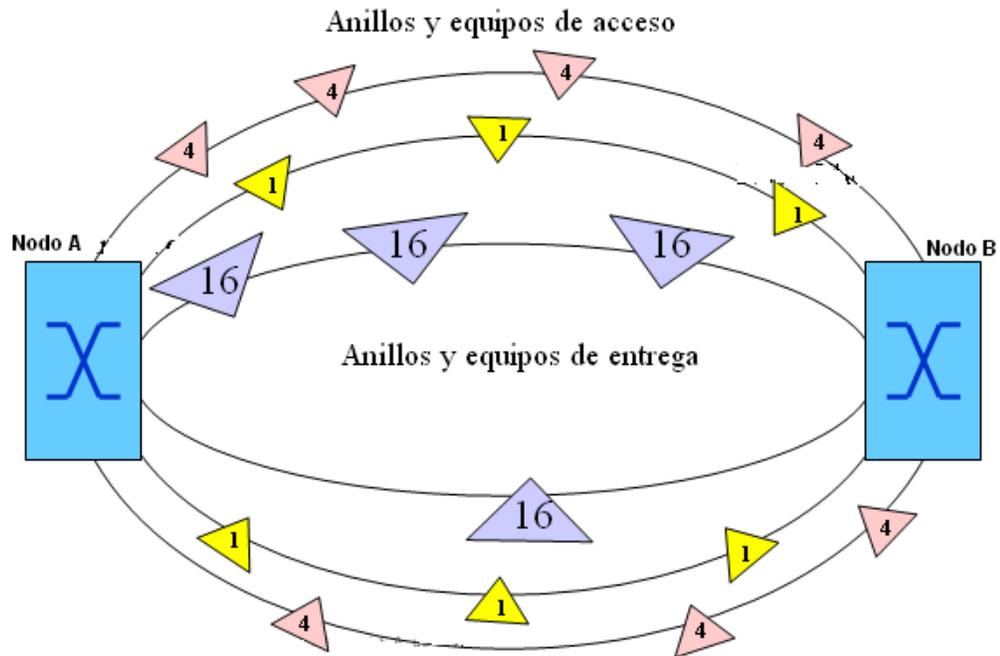


Fig. 6.1 Topología de red

Cabe aclarar que la mayor parte de la zona de corporativos se encuentra en la parte norte y centro de la red.

La conectividad de un servicio va desde las instalaciones del usuario final hacia las instalaciones de un carrier pasando por los nodos principales de la red, donde el servicio es monitoreado.

Cada servicio es protegido en trayectoria con esquema de protección SNCP y en ruta con interfaces de sobreprotección. Si el acceso y entrega se encuentran al norte de la red, se le asigna protección al sur y si el acceso y entrega se encuentran al sur, entonces se le asigna protección al norte.

Dentro de los principales clientes de la empresa destacan:

- Alestra
- Axtel
- Bestel

- Comsat
- CFE
- Global Crossing
- Iusacel
- Marcatel
- Maxcom
- MVS
- Nextel
- Protel
- Telefónica
- Televisa
- TV Azteca
- Unefon

6.4 Problemática

Debido a la calidad de servicio y disponibilidad del mismo en un 99.99% que ofrece la empresa, los carriers depositan en ésta la confiabilidad para el transporte de su información crítica; por ello, la red es bastante dinámica y día con día se activan bastantes servicios, lo que ha ocasionado que dicha red este llegando a su máxima capacidad e incluso tenga anillos saturados en algunos casos. Esta situación origina que se retrasen los tiempos estimados de entrega de servicios a los carriers y las operaciones de activación de servicios se demoren más tiempo del planeado.

La situación expuesta anteriormente es totalmente transparente para los carrier y usuarios finales, la problemática real se centra en las operaciones y crecimiento internos de la empresa las cuáles se ven limitadas por la falta de capacidad en la red, afectando severamente los ingresos.

Como ya se mencionó en el Capítulo 4, la trama básica de SDH es el STM-1, el cual a su vez se descanaliza en 3 Contenedores Virtuales de orden 3 (VC-3) y estos a su vez se descanalizan en 21 Contenedores Virtuales de orden 12 (VC-12) o bien 1 E1 cada uno.

En México, se comercializan básicamente E1, E3 y DS3 para servicios a usuarios finales, aunque la mayor demanda la tienen los servicios de E1; es por ello que la empresa en cuestión tiene la mayor parte de los anillos lógicos de la red, dedicados a usuarios finales ó acceso.

La red es una red dinámica, es decir, que día a día se están activando nuevos servicios; debido a dicha demanda los anillos lógicos de acceso de la red se encuentran saturados y sin disponibilidad. Esta situación es de gran preocupación por lo siguiente:

- No hay capacidad disponible en anillos de acceso para nuevas activaciones de servicios.
- Los tiempos de entrega de servicios se ven afectados, incluso exceden a los tiempos planeados.
- Frena el crecimiento operacional y monetario de la empresa.
- Posible pérdida de carriers (clientes) debido a que no se satisfacen sus peticiones de nuevos servicios.

Por lo anterior se concluye que el problema por falta de capacidad se debe a que los anillos lógicos de acceso STM-1 principalmente, están saturados debido a que por su ubicación geográfica se encuentran en las principales zonas corporativas del D.F y Zona Metropolitana donde hay mayor demanda de servicios; por lo que dichos anillos son el problema a solucionar.

6.5 Propuestas para optimizar la capacidad de la red.

Habiendo definido de manera general el problema que se va a tratar en el presente trabajo, se procede a exponer y analizar las distintas soluciones que se encuentren a nuestro alcance para poder implementar un proyecto estratégico con el cual se puedan cumplir los requerimientos de solución a la problemática planteada por la empresa. Dichas soluciones se enfocan, básicamente a la desaturación de anillos lógicos de acceso (STM-1 y STM-4) al norte de la red.

Presentaremos dos tipos de soluciones al problema en cuestión, una vez analizadas, escogeremos la mejor opción:

- Apertura de nuevos anillos de acceso
- Inserción de un nodo concentrador

Un factor importante a tomar en cuenta en la elección de la solución es el tiempo que se llevaría la implementación y puesta en marcha de la solución, debido a que la empresa se ve muy limitada en capacidad para entregar nuevos servicios.

6.5.1 Apertura de nuevos anillos de acceso

Dentro de las posibles soluciones al problema de saturación de anillos de acceso, la primera que analizaremos es la apertura de nuevos anillos en la cual básicamente se requiere infraestructura nueva que será instalada sobre la existente.

La idea general consiste en abrir anillos lógicos de acceso (STM-1 y STM-4) al norte de la red y se expresa en la siguiente figura:

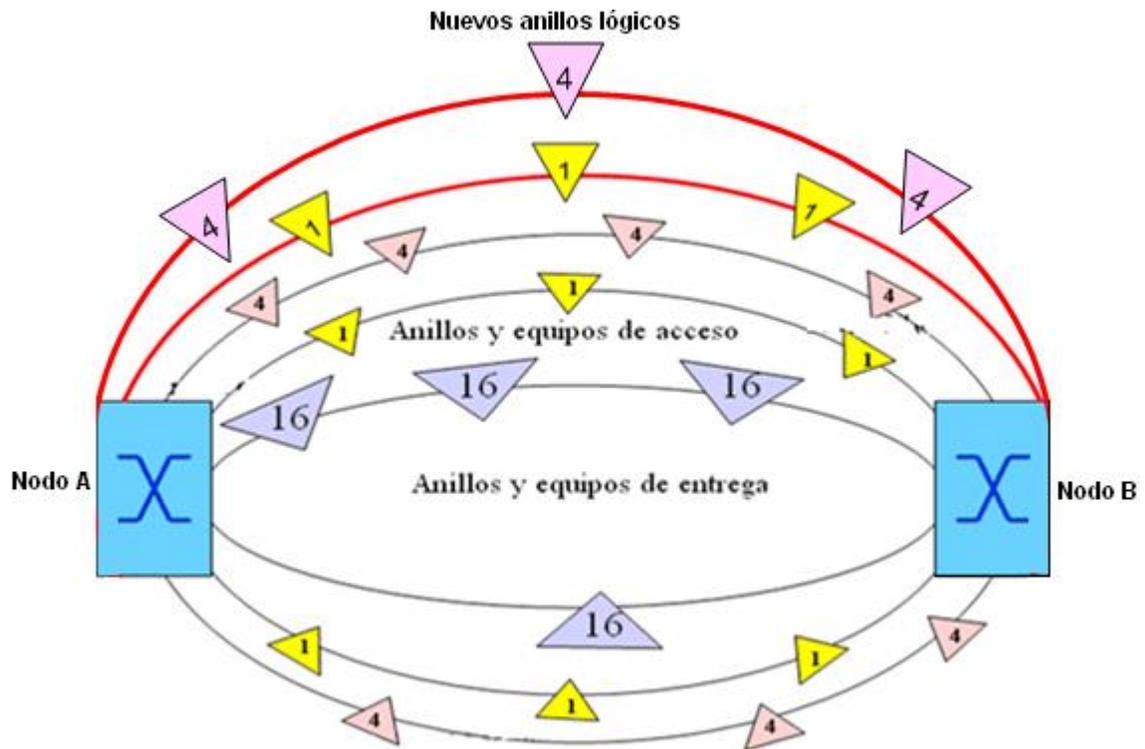


Fig. 6.2 Topología de red con apertura de nuevos anillos de acceso

Para la realización de esta propuesta, es necesario cubrir con los siguientes requerimientos:

- Habilitar anillos físicos sobre la infraestructura de cable de fibra óptica existente.
- Por lugares donde no hay cobertura de cable de fibra óptica, realizar tendido del mismo; así como postería, tubería, manhole y cajas de empalme donde sea necesario.
- Contar con permisos para construcción de infraestructura de red por parte del GDF.
- Aumentar capacidad en las matrices de cross-conexión de los DXC's (Nodo "A" y Nodo "B").
- Insertar tarjetas con módulos para STM-1 y STM-4 en los Nodos "A" y "B". Para ello se requiere disponibilidad de slot en el shelf de los DXC's.
- Disponibilidad de recurso humano y maquinaria.

En esta solución, hay que tomar en cuenta que:

- Los tiempos de autorización de permisos para construcción de nueva infraestructura de red llevan un proceso de 30 a 90 días hábiles. Una vez concedido el permiso se procede al levantamiento de postes y tendido de cable de fibra óptica, lo cual lleva a un proceso de 4 postes por día más el tiempo que se lleve en el tendido de cable el cual es variable en relación a la longitud del cable a tender.
- Para habilitar anillos sobre la fibra existente, se tienen que realizar pruebas de continuidad de la misma a lo largo de la trayectoria.
- Se requiere “iluminar” los anillos del Nodo “A” al Nodo “B” insertando módulos STM-1 y STM-4 en ambos. Después de ello, realizar pruebas de potencia óptica.

NOTA: El tiempo estimado para estas actividades se depende del número de anillos por abrir.

Con esta propuesta se daría solución al problema de falta de capacidad en la red, con ello la capacidad sería duplicada en los anillos de acceso al norte de la red.

Si tomamos en cuenta los tiempos estimados para cada actividad, se concluye que la puesta en marcha del proyecto se demoraría mínimo de 5 a 6 meses, demasiado tiempo para satisfacer las necesidades de la empresa. Por lo tanto esta propuesta no es la más viable ya que frenaría el crecimiento operacional y monetario de la empresa.

6.5.2 Inserción de un nodo concentrador

Esta propuesta consiste básicamente en insertar un DXC (nodo concentrador) al “centro” de la red usando la infraestructura existente, como se muestra en la siguiente figura:

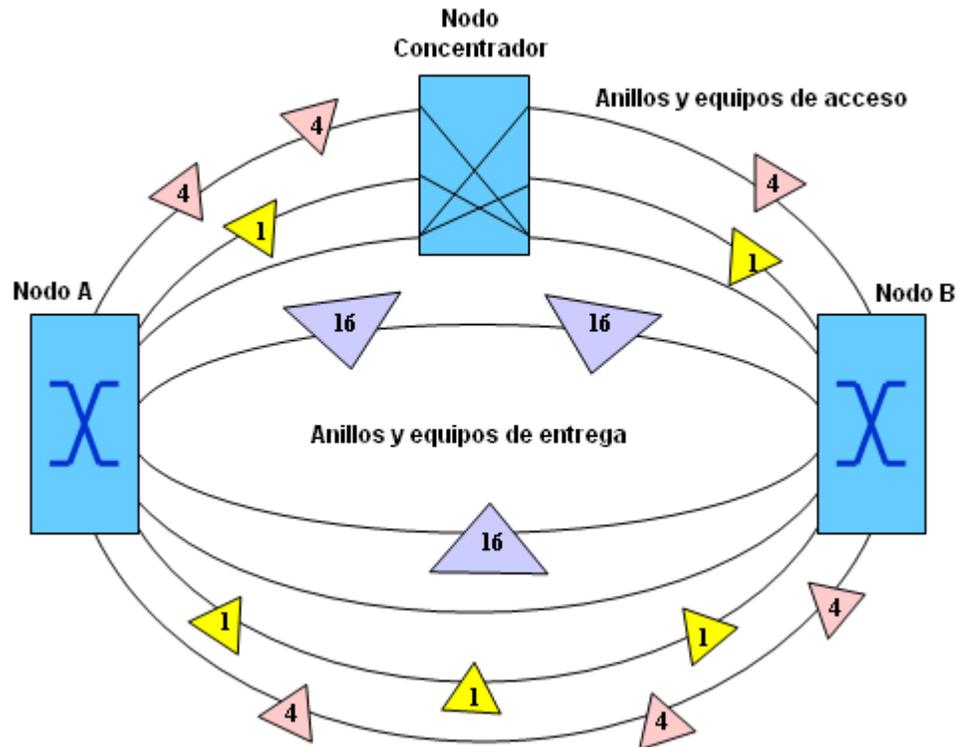


Fig. 6.3 Topología de red con nodo concentrador

Con esta configuración la red se parte principalmente en dos trayectorias lógicas: una que va del Nodo A al Nodo Concentrador y otra que va del Nodo B al Nodo Concentrador; con ello se libera la mitad de capacidad por anillo lógico aproximadamente.

La función del Nodo Concentrador es enviar los anillos lógicos de acceso que llevan la trayectoria “Nodo A – Nodo Concentrador” por interfaces de concentración hacia el Nodo B y los anillos lógicos de acceso que llevan la

trayectoria “Nodo B – Nodo Concentrador” por interfaces de concentración hacia el Nodo A.

Para la realización de esta propuesta, es necesario cubrir con los siguientes requerimientos:

- Elección de un shelter o site que alojará al Nodo Concentrador y accesorios, para ello se realiza una distribución lógica de tráfico.
- Aprovisionamiento, adecuación y trabajos previos dentro y fuera del shelter para el alojamiento del Nodo Concentrador.
- Evaluación de equipos DXC’s.
- Inserción del Nodo Concentrador a la red y concentración de los anillos lógicos de acceso en él.
- Disponibilidad de recurso humano para la realización del proyecto.

En esta solución, hay que tomar en cuenta que:

- Realizar compra del equipo DXC a utilizar, misma que la entrega está estimada en 30 días hábiles aproximadamente.
- Realizar compra del equipamiento de aprovisionamiento del site que alojará al nodo concentrador, mismo que se estima esté listo en aproximadamente 30 días hábiles.
- Realizar aprovisionamiento del site que alojará al nodo concentrador, mismo que se estima esté listo en aproximadamente 30 días hábiles.

Con esta propuesta de igual manera se duplicaría la capacidad en los anillos de acceso al norte de la red, sin embargo, en esta el tiempo para la puesta en marcha del proyecto es menor, aproximadamente 1 a 2 meses; por lo tanto esta propuesta es la más viable para resolver las necesidades de la empresa.

6.6 Situación actual de la red.

Como ya se describió, la red en cuestión es formada por un tendido de cable de fibra óptica estratégicamente distribuido sobre las principales zonas corporativas de la Ciudad de México y Zona Metropolitana. Los cables de fibra óptica comúnmente utilizados son:

- Cable de 12 fibras, para acometidas de usuarios finales
- Cable de 24 fibras, para enlaces entre colectores y usuarios finales
- Cables de 48 y 96 fibras, para colectores y backbone
- Cables de 144 fibras para reparación de daño sobre los cables de 48 y 96 fibras

Lo anterior se puede mostrar de manera gráfica en la siguiente figura:

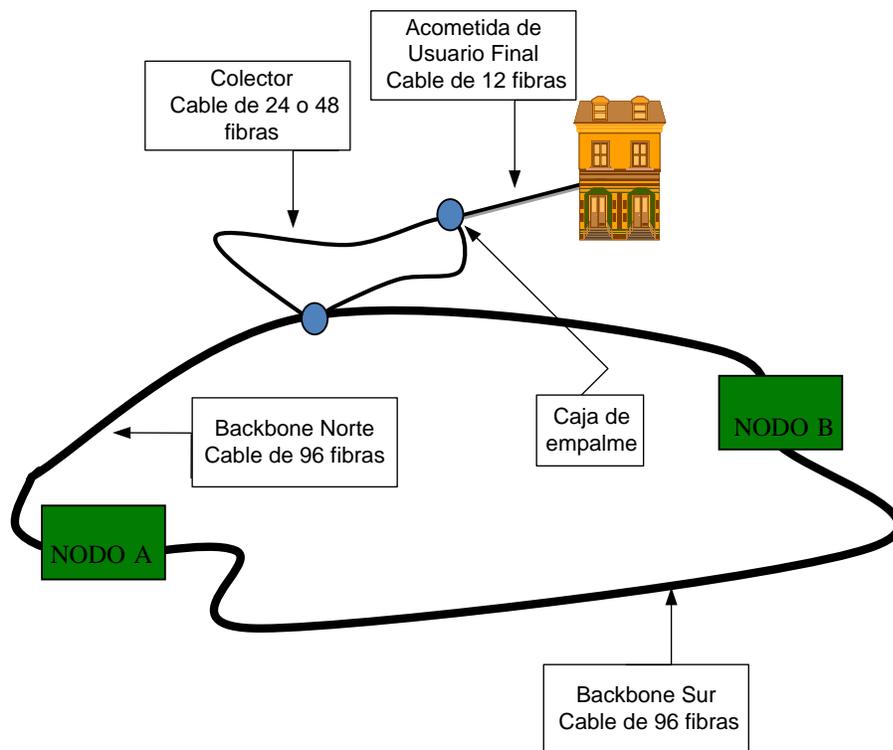


Fig. 6.4 Esquema general de red

Dicho tendido se realiza de manera aérea sobre postes o de manera subterránea dentro de tubería y manholes, dependiendo de las condiciones expuestas en los permisos de construcción expedidos por cada una de las delegaciones por donde se instaló la red.

Para la construcción de infraestructura de red se realiza el levantamiento de postes o instalación de manholes, los cuales deben llevar una separación de 50 metros. El tendido del cable de fibra óptica se realiza por tramos o segmentos, “rematándose” o sujetándose en cada poste. Cada 100 metros se enrollan 30 metros de cable y se colocan sobre un poste o dentro de un manhole; a dicho rollo de cable se le conoce como loop y se coloca para crecimiento futuro en la red, facilitar la manipulación del cable en atención a una falla o para la derivación de acometidas de nuevos usuarios. Lo anterior se muestra en la siguiente figura:

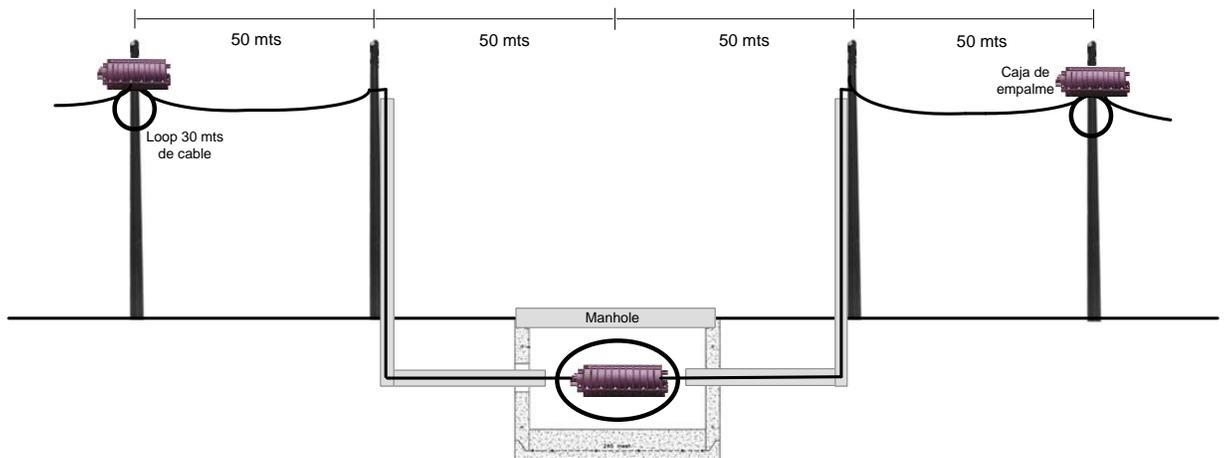


Fig. 6.5 Infraestructura de red

Para realizar la unión física de dos segmentos de cable se necesita instalar cajas de empalme sobre postes o dentro de un manhole, en ella se encuentran los empalmes de fusión de cada una de las fibras del cable, como se muestra en la siguiente figura:

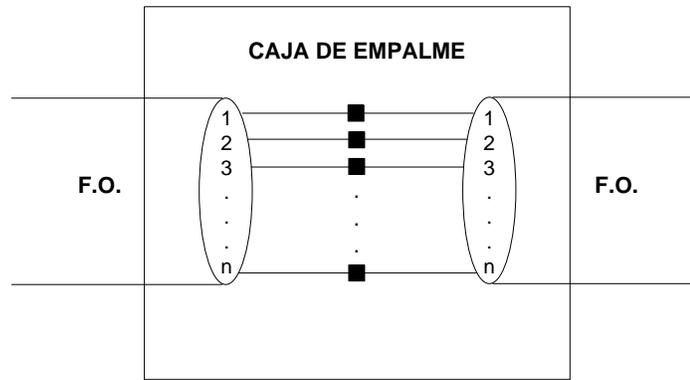


Fig. 6.6 Diagrama de caja de empalmes

Los cables de fibra óptica van de la ubicación del Nodo “A” hasta la ubicación del Nodo “B” pasando por los usuarios finales a lo largo de su trayectoria. Cada anillo lógico se forma por un par de fibras del cable, una fibra es utilizada para transmisión (Tx) y otra para recepción (Rx).

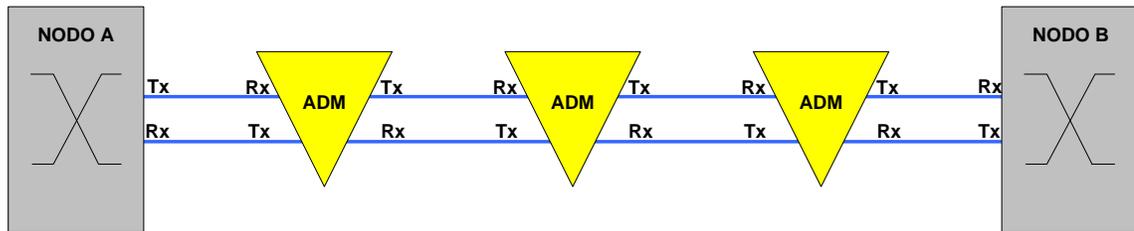


Fig. 6.7 Topología de anillo de acceso

6.7 Diseño del proyecto

La realización de este proyecto consiste de 4 etapas:

- Análisis de tráfico y elección de un site
- Aprovechamiento interno y externo del site
- Desvío del tráfico de red hacia el site
- Concentración de anillos lógicos de acceso

6.7.1 Análisis de tráfico y elección de un site

La distribución de tráfico actual en los anillos lógicos de acceso al norte de la red se encuentra como se muestra en las siguientes tablas:

ANILLO	CAPACIDAD TOTAL	CAPACIDAD OCUPADA	CAPACIDAD LIBRE
Anillo 1	STM-1	63 VC12's	0 VC12's
Anillo 2	STM-1	60 VC12's	3 VC12's
Anillo 3	STM-1	61 VC12's	2 VC12's
Anillo 4	STM-1	61 VC12's	2 VC12's
Anillo 5	STM-1	59 VC12's	4 VC12's
Anillo 6	STM-1	60 VC12's	3 VC12's
Anillo 7	STM-1	59 VC12's	4 VC12's
Anillo 8	STM-1	62 VC12's	1 VC12's
Anillo 9	STM-1	63 VC12's	0 VC12's
Anillo 10	STM-1	61 VC12's	2 VC12's
Anillo 11	STM-1	59 VC12's	4 VC12's
Anillo 12	STM-1	63 VC12's	0 VC12's
Anillo 13	STM-1	63 VC12's	0 VC12's
Anillo 14	STM-1	59 VC12's	4 VC12's
Anillo 15	STM-1	57 VC12's	6 VC12's
Anillo 16	STM-1	61 VC12's	2 VC12's
Anillo 17	STM-1	58 VC12's	5 VC12's
Anillo 18	STM-1	63 VC12's	0 VC12's
Anillo 19	STM-1	57 VC12's	6 VC12's
Anillo 20	STM-1	62 VC12's	1 VC12's
Anillo A	STM-4	252 VC12's	0 VC12's
Anillo B	STM-4	252 VC12's	0 VC12's
Anillo C	STM-4	237 VC12's	15 VC12's
Anillo D	STM-4	244 VC12's	8 VC12's
Anillo E	STM-4	240 VC12's	12 VC12's

Tabla 6.1 Distribución de tráfico actual en los anillos lógicos de acceso

La distribución física de los usuarios finales en la red, se encuentra como se muestra en la siguiente figura:

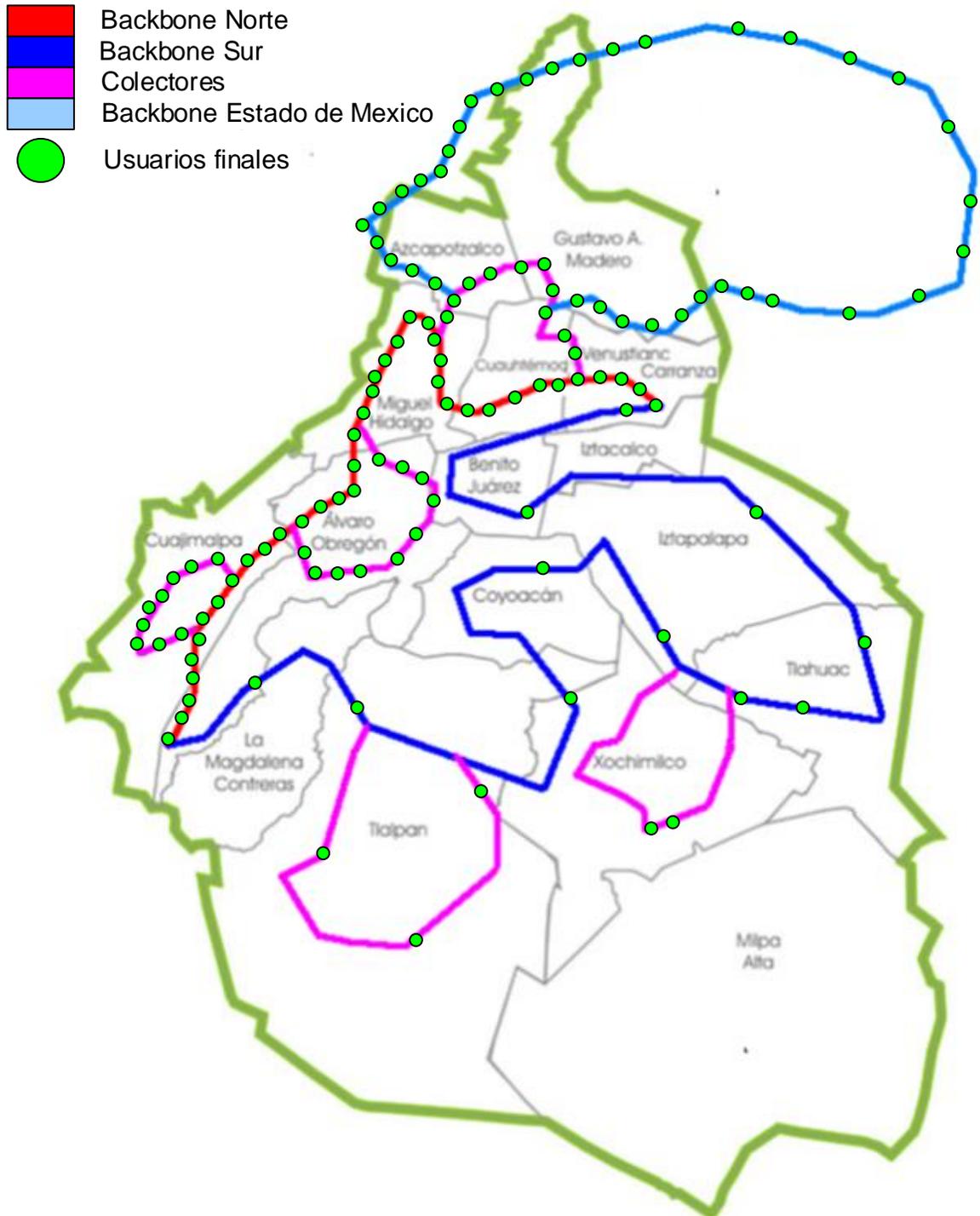


Fig. 6.8 Distribución física de los usuarios finales en la red

Analizando que las distribuciones física y lógica de tráfico y usuarios finales en la red son uniformes y considerando que el promedio de servicios por usuario final es de 4 E1's, se propone a la zona de Polanco para la búsqueda de un

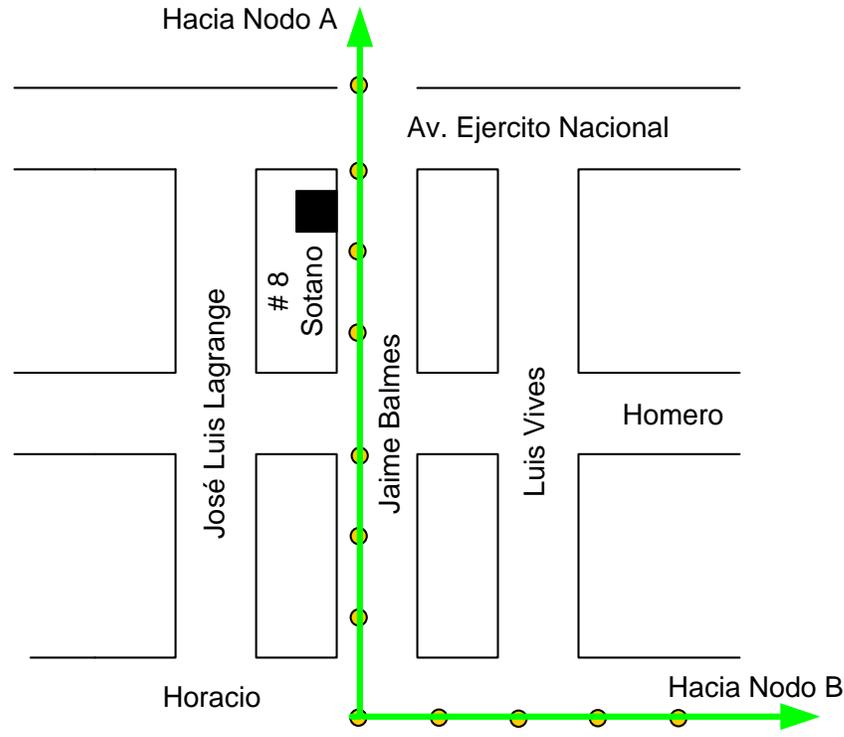


Fig. 6.10 Ubicación del predio que alojará al site

6.7.2 Aprovechamiento interno y externo del site

Para la realización de este proyecto, se necesita acondicionar previamente el sótano del edificio, el cual será el site que alojara el nuevo concentrador. En él se requiere la instalación de:

➤ Canaletas

Canaleta FiberGuide. Es un sistema de guía diseñado para proteger y enrutar la fibra óptica. Mantiene un radio de curvatura mínimo de dos pulgadas en todo el sistema, lo que permite proteger la fibra. Ofrece una rápida instalación, flexibilidad en la canalización con estructuras de soporte, opciones de salidas y secciones rectas expandibles. Sujetadores especiales

permiten que nuevas canaletas puedan ser instaladas o removidas rápidamente.



Fig. 6.11 Canaleta para fibra óptica

Canaleta Cablofil. Charola tipo malla para canalización de cable eléctrico de telecomunicaciones y control. Charolas con medidas desde 54 mm hasta 600 mm de ancho, con peraltes de 30, 54 y 105 mm; la línea es apta para interiores, exteriores y ambientes corrosivos porque cuenta con acabados en electrozincado, galvanizado 304L y 316L, acero inoxidable con recubrimiento de pintura epóxica



Fig. 6.12 Escalerilla para cableado de datos

- Racks. Un rack es un bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Sus medidas están normalizadas para que sea compatible con equipamiento de cualquier fabricante. Los racks son un simple armazón metálico con un ancho

normalizado de 19 pulgadas, mientras que el alto y el fondo son variables para adaptarse a las distintas necesidades. El armazón cuenta con guías horizontales donde puede apoyarse el equipamiento, así como puntos de anclaje para los tornillos que fijan dicho equipamiento al armazón. En este sentido, un rack es muy parecido a una simple estantería.



Fig. 6.13 Rack de 19"

- ODF (Optical Distribution Frame). Es un accesorio que sirve como panel de parcheo para fibra óptica, cuyo acoplamiento de núcleos se realiza de manera mecánica por medio de un conector conocido como "barril". El número de puertos depende de la cantidad de hilos de fibra óptica necesaria y están estandarizados en 12, 24, 48, 96 y 144 puertos.

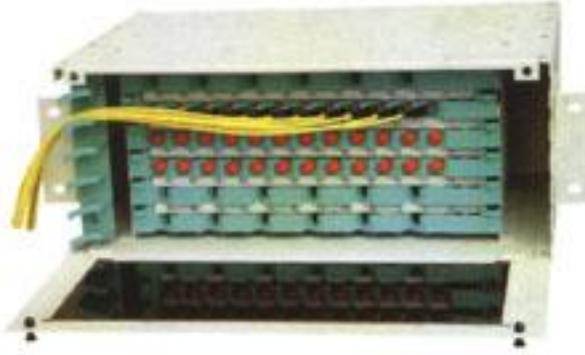


Fig. 6.14 ODF FC/FC 96 posiciones

- Banco de baterías. Es un arreglo de baterías que guardan energía para ser utilizada ante una falla eléctrica por un equipo electrónico que necesite no ser interrumpido en su operación.



Fig. 6.15 Banco de baterías

- Aire acondicionado. Es un sistema de enfriamiento que se coloca en los centros de datos para evitar el sobrecalentamiento de los equipos que ahí se albergan. En un site temperatura debe ser del orden los 21 °C y debe haber dos equipos de aire acondicionado, uno principal y uno secundario.
- Equipo concentrador. Para este proyecto se utilizará un DXC en su configuración de concentrador.

La distribución del site está planeada como se observa en la siguiente figura.

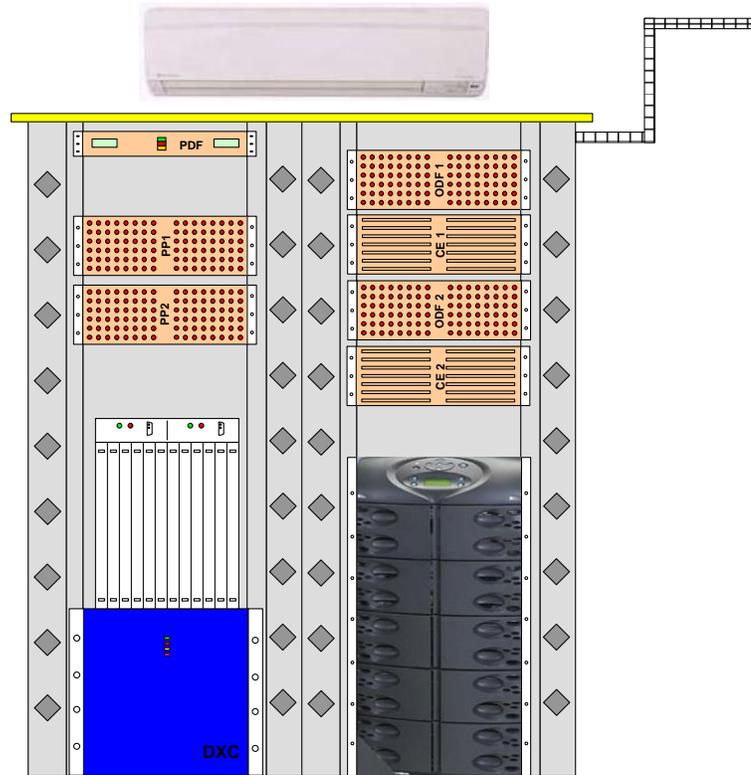


Fig. 6.16 Distribución de equipos en racks

Al exterior del mismo se requiere realizar la canalización de 500 m de cable de 96 fibras, desde los postes adjuntos al edificio hasta los ODF previamente instalados en el site; estos cables tomarán el papel de acometidas.

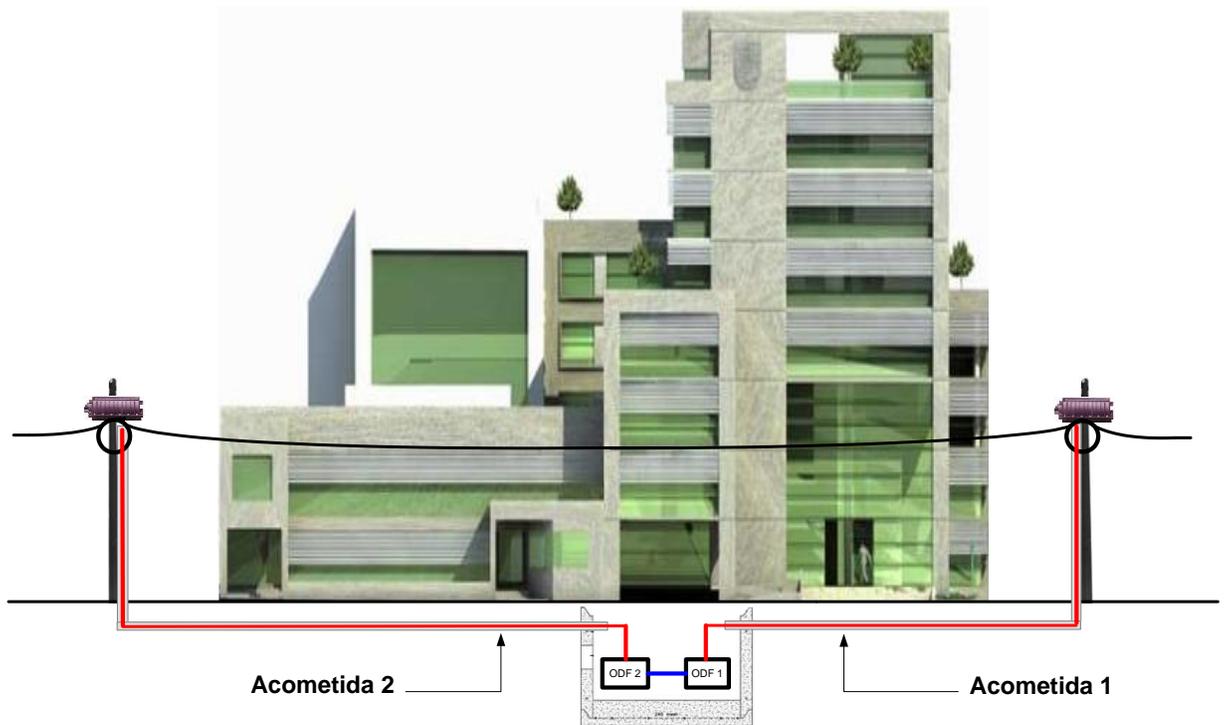


Fig. 6.17 Trayectoria de acometidas al site

Las adecuaciones del site y la instalación de cableados al interior y exterior del mismo, serán realizados por los departamentos de planta interna y externa de dicha empresa.

6.7.3 Desvío de tráfico

En esta etapa del proyecto se pretende desviar el tráfico hacia los ODF's instalados en el site para ello se requiere:

1. Por la parte frontal del ODF, se realiza la conexión 1 a 1 de sus 96 puertos con jumpers FC/FC.

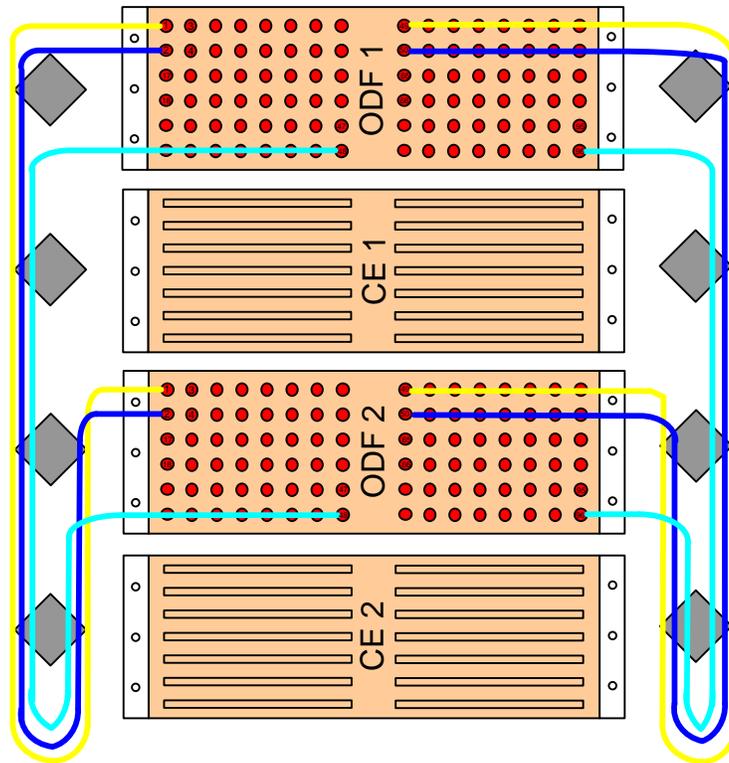


Fig. 6.18 Interconexión de ODF's

2. Por la parte trasera de los ODF's, empalmar los 96 puertos de cada ODF con su respectiva punta del cable de 96 fibras que se canalizó para ser acometida.

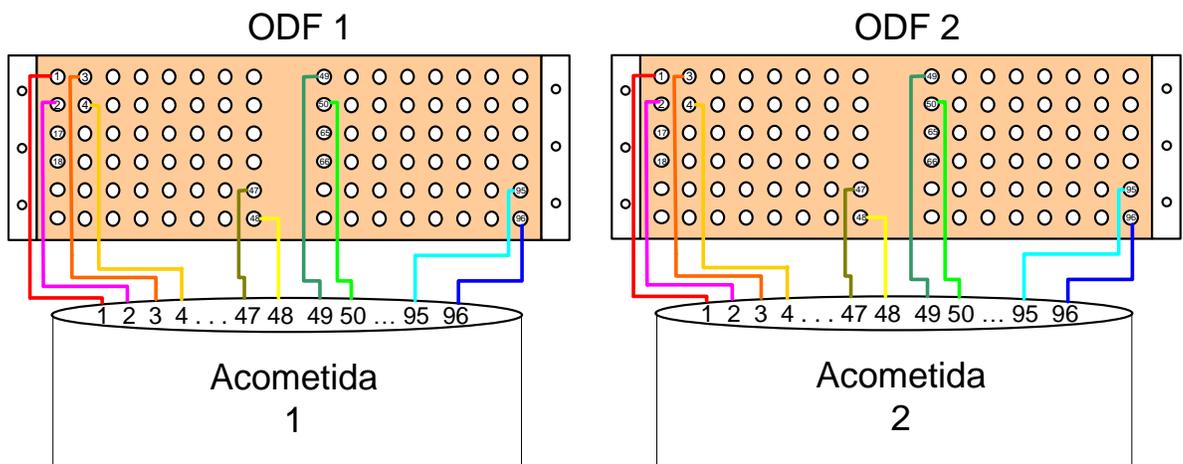
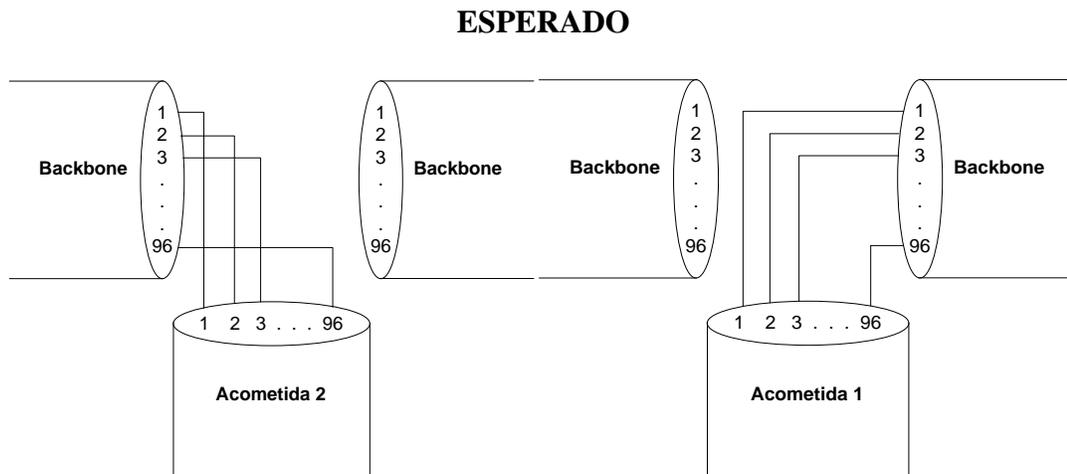
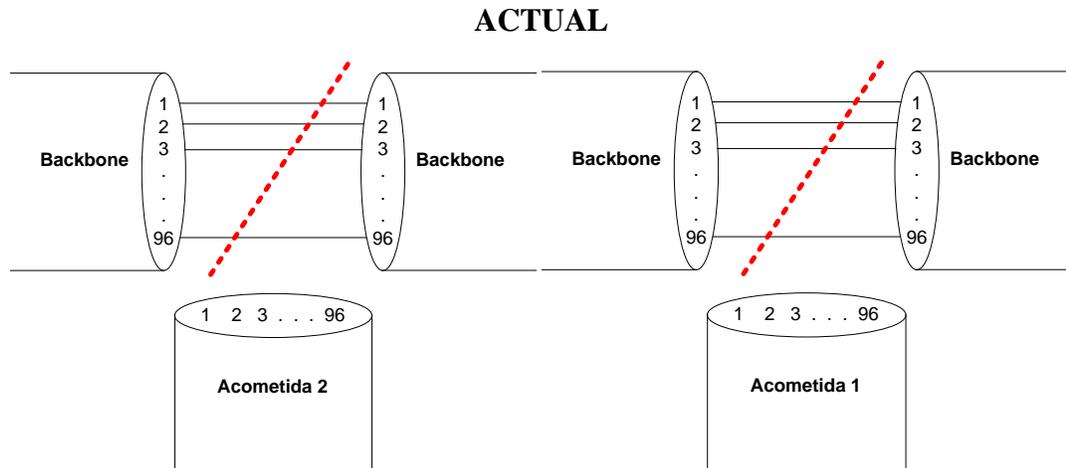


Fig. 6.19 Empalmes entre acometida y ODF

- Realizar empalmes de las acometidas contra el backbone desde las cajas de empalme ubicadas en los postes adjuntos al edificio.



En este momento los circuitos de la red se encuentran traficando por los ODF's del Shelter que aloja al Nodo Concentrador, la siguiente fase es concentrar dichos circuitos en el DXC y con ello duplicar la capacidad en cada uno de los anillos lógicos de acceso para poder satisfacer las necesidades de la empresa.

6.7.4 Concentración de anillos lógicos de acceso

Como ya hemos visto en capítulos anteriores la función principal de un DXC es realizar conexiones lógicas (cross-conexiones) entre subredes en su matriz de cross-conexión interna.

La conexión lógica se realiza primeramente a alto orden (VC-4), por lo que el DXC no hace distinción sobre el nivel jerárquico de las subredes a cross-conectar, es decir, la cross-conexión puede realizarse entre STM-1, STM-4, STM-16 y de manera mixta. Si es necesario, posteriormente se realiza la cross-conexión a bajo orden (VC-12).

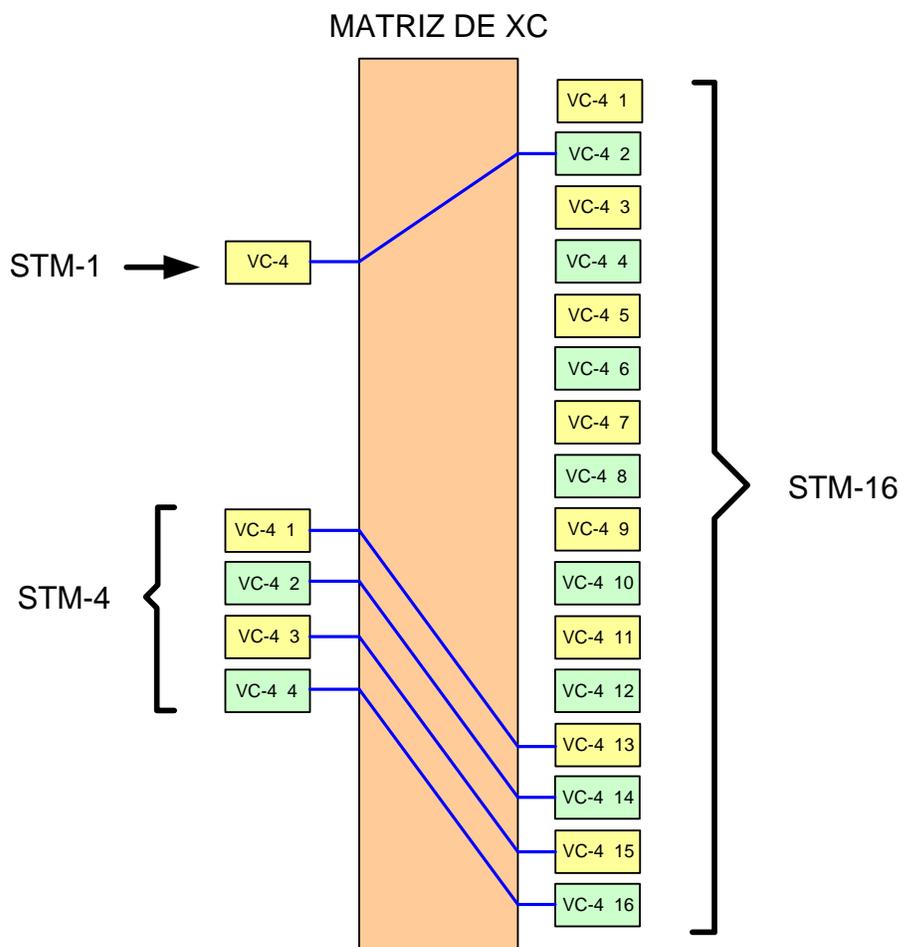


Fig. 6.22 Matriz de cross-conexión

Ahora bien, tomemos como referencia la explicación anterior para entender la idea principal de la ejecución en esta fase del proyecto, la cual consiste en concentrar los anillos lógicos de acceso STM-1 y STM-4 del norte de la red que inician en el Nodo A y enviarlos hacia el Nodo B por interfaces de concentración STM-16.

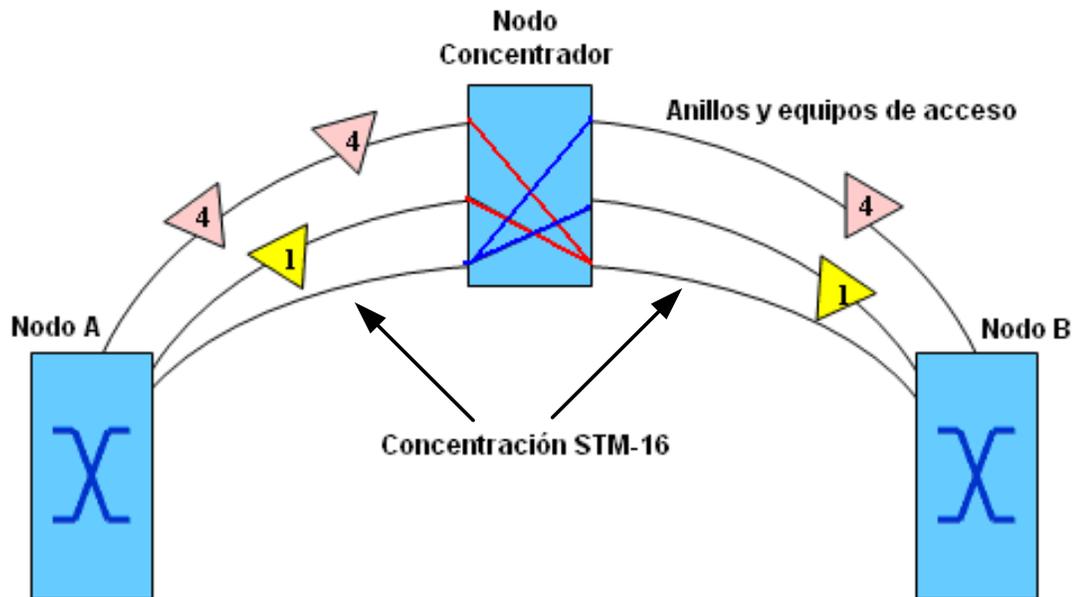


Fig. 6.23 Topología de red esperada

Para realizar la concentración de los anillos lógicos de acceso, se utilizará un DXC en su configuración de concentrador. Debido a que en los nodos principales de la red se cuenta con equipos DXC's de la marca ECI comercialmente conocidos como "XDM-1000", nos limitaremos a realizar evaluaciones técnicas sobre otras marcas debido a que se tiene gran experiencia con estos equipos, su modo de operación y su respectivo sistema de gestión.

Las partes principales de un XDM 1000 son las siguientes:

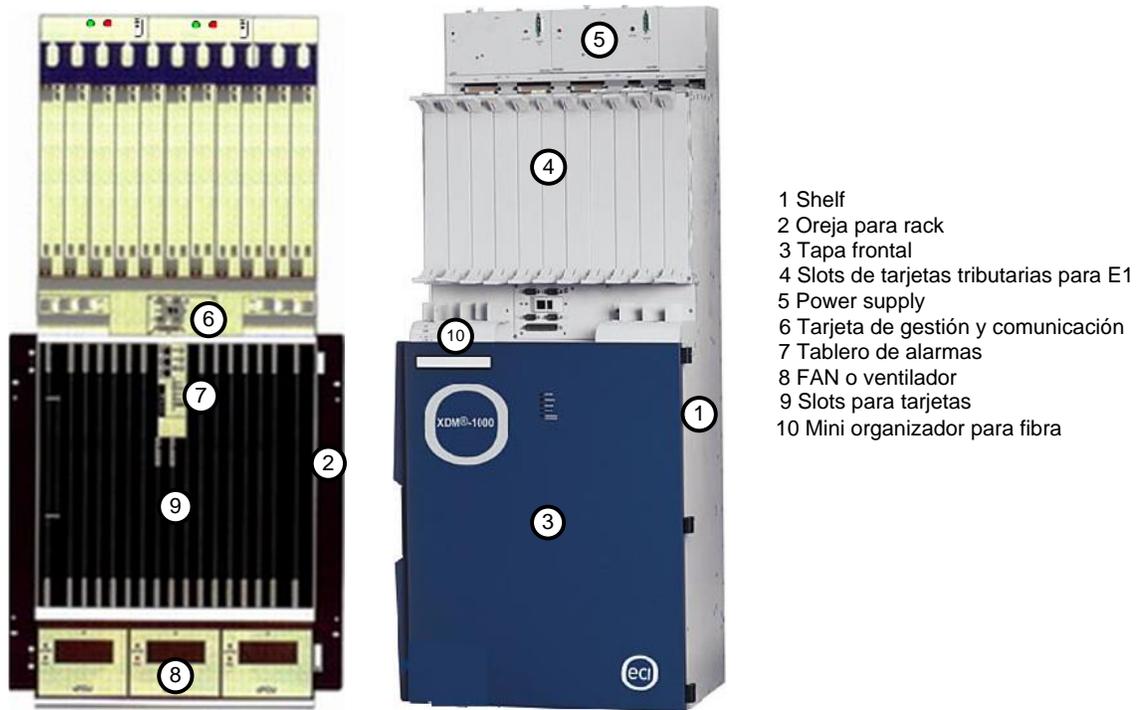


Fig. 6.24 Partes de equipo XDM-1000

Las tarjetas principales de un XDM 1000 son:

HLXC HLXC384 HLXC786	Matrices de cross-conexión. La diferencia entre ellas es la capacidad de cross-conexiones en cada una.
XMCP	Tarjeta de control.
SIO16-1 SIO16-2 SIO16-4	Tarjeta para agregado STM-16 de 1 módulo con 1, 2 y 4 puertos respectivamente.
SIO1n416	Tarjeta para agregado STM-4 con 4 módulos de 1 puerto óptico cada una.
SIO1n4M16	Tarjeta para agregado STM-1 con 4 módulos de 4 puertos ópticos cada una.
OTR-1	Puerto óptico STM-1
OTR-4	Puerto óptico STM-4
OTR-16	Puerto óptico STM-16

Tabla 6.2 Tarjetas principales de equipos XDM-1000

Las tarjetas deben ir colocadas en slots específicos para ser reconocidas por el XDM 1000, es por ello que arreglo de tarjetas para este proyecto quedara de la siguiente manera:

	H L X C 7 6 8	S I O 1 n 4 M 1 6	S I O 1 n 4 M 1 6	S I O 1 n 4 1 6	S I O 1 n 4 1 6	L I B R E	S I O 1 6 4	M X C P	M X C P	S I O 1 n 4 M 1 6	S I O 1 n 4 M 1 6	S I O 1 n 4 1 6	S I O 1 n 4 1 6	L I B R E	S I O 1 6 4	H L X C 7 6 8
X1	I1	I2	I3	I4	I5	I6	C1	C2	I7	I8	I9	I10	I11	I12	X2	

Fig. 6.25 Distribución de tarjetas en equipo XDM-1000

NOTA: Las tarjetas deberán ser insertadas ya con su respectivo OTR.

Para este proyecto se realizarán crossconexiones de alto y bajo orden debido a que el tráfico de los anillos lógicos de acceso se encuentra multiplexado.

Una vez gestionado el XDM 1000 se procederá a realizar la concentración de cada uno de dichos anillos. La actividad se realiza en dos puntos estratégicos (Nodo A y Nodo B); los cambios físicos se realizarán desde Jaime Balmes # 8 que es la ubicación del Nodo Concentrador y los cambios lógicos se realizarán de manera remota por medio del sistema de gestión desde el Centro de Operaciones (NOC).

Los cambios físicos básicamente consisten en realizar la conexión física entre los puertos ópticos de las interfaces STM-1 o STM-4 del XDM 1000 contra los puertos del ODF que corresponden al anillo a concentrar.

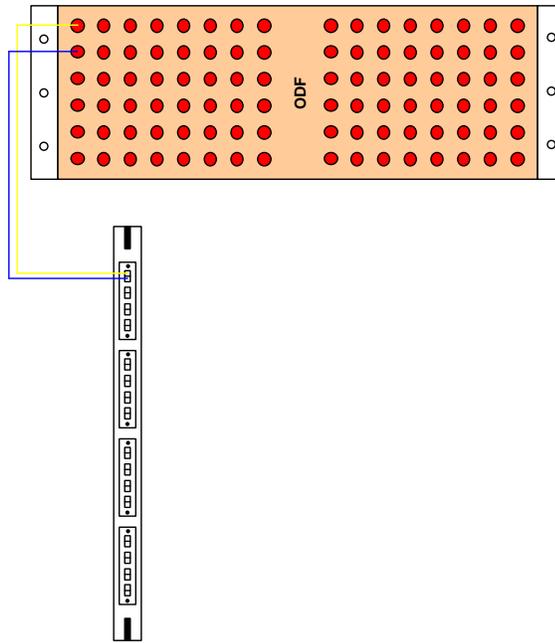


Fig. 6.26 Conexión de anillos a concentrar

Lógicamente la concentración de los anillos que van del Nodo A hacia el Nodo Concentrador se realizará de la siguiente manera.

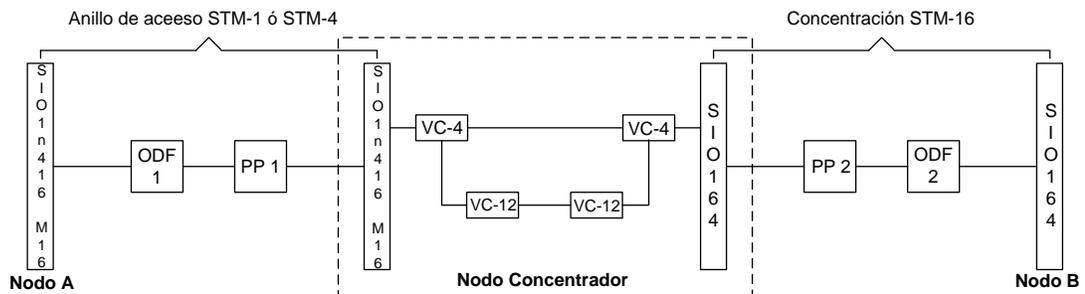


Fig. 6.27 Primer fase de concentración de anillos

Lógicamente la concentración de los anillos que van del Nodo B hacia el Nodo Concentrador se realizará de la siguiente manera.

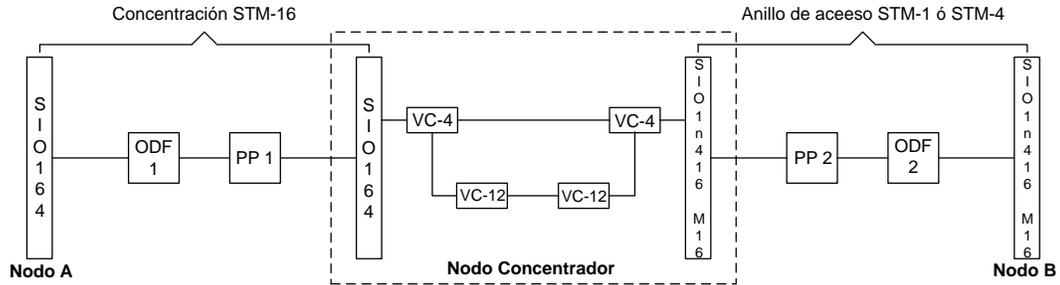


Fig. 6.28 Segunda fase de concentración de anillos

Topológicamente la configuración de un servicio que circula por la red a través de los nodos principales A y B con acceso norte en un anillo STM-1 (usuario final), entrega norte en un anillo STM-16 (carrier) y protección sur; se vería como se muestra en la siguiente figura:

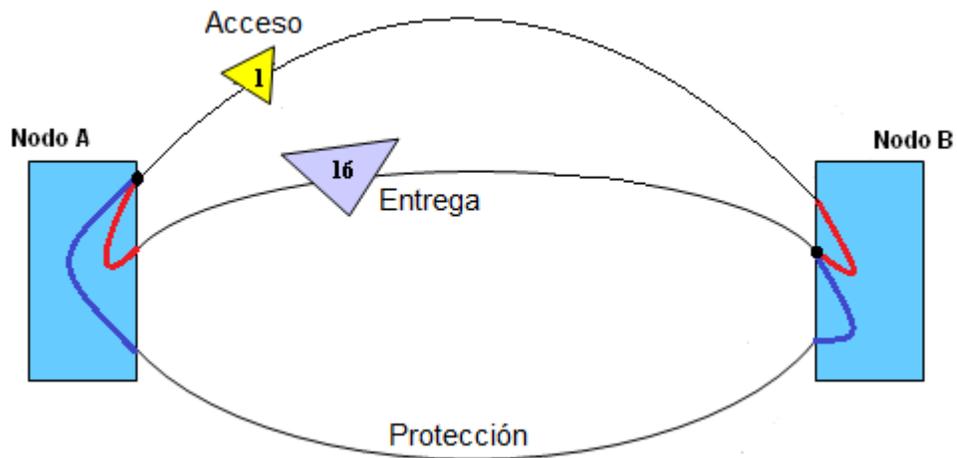


Fig. 6.29 Topología de configuración de servicios actual

Después de la concentración dicho servicio se vería como se muestra en la siguiente figura:

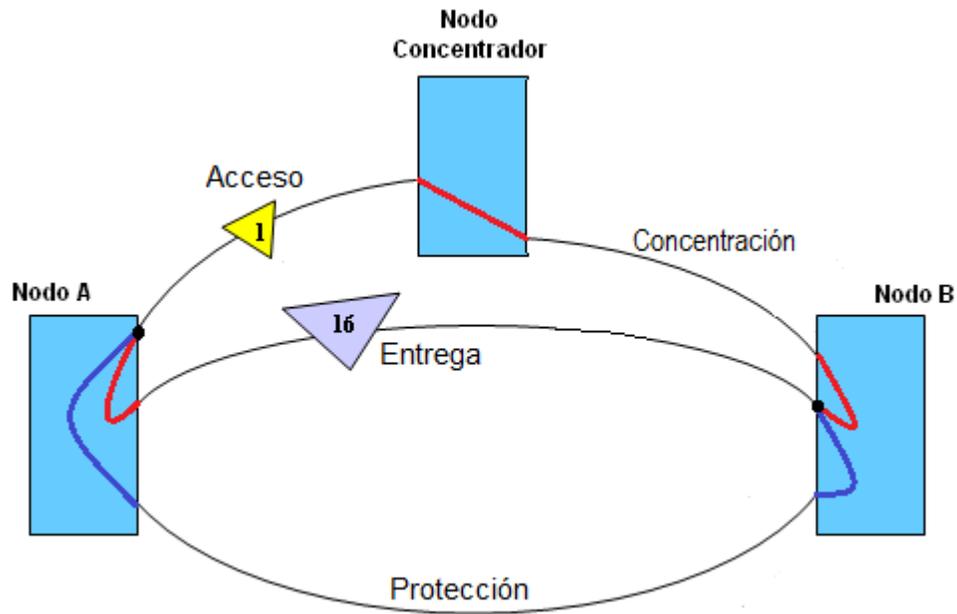


Fig. 6.30 Topología de configuración de servicios esperada

Por lo anterior se puede observar que la capacidad ocupada por el servicio en el anillo de acceso será liberada en la trayectoria del Nodo Concentrador al Nodo B.

Así mismo podemos observar que debido a la configuración realizada en cada servicio y a la protección establecida a la topología de red, las actividades de concentración se pueden realizar sin afectación de tráfico, por lo que tendremos la posibilidad de mantener la calidad de servicio comprometida con los clientes si necesidad de interrumpir sus actividades ante una posible interrupción de su servicio.

Para garantizar un QoS alto y brindar seguridad a los clientes durante el proceso de concentración, las actividades se realizarán en horario nocturno y con un intervalo de tiempo considerable para poder realizar cualquier proceso de “roll back” o retorno en caso de ser necesario.

6.8 Costos de la implementación

Hasta éste momento en el presente trabajo se ha plasmado la problemática principal de la empresa en cuestión y el diseño de la solución que consideramos como la más viable, pero no hemos abordado temas monetarios ni mucho menos los hemos considerado como una limitante debido a que éste proyecto cuenta con presupuesto disponible y autorizado por la empresa; es decir, la empresa financiará este proyecto con la seguridad de que será redituable a corto plazo en términos financieros basados en un análisis previo hecho por áreas especialistas de la empresa, el cual por cuestiones de confidencialidad no se presenta en éste trabajo de tesis.

Aun así, presentamos en el apéndice “B” algunas cotizaciones a las que se tuvo acceso de los materiales y equipos que se pretenden utilizar durante la implementación del proyecto para que lo anterior nos dé una dimensión del impacto monetario que se generaría a favor de la empresa con la implementación solución que se propone.

Conclusiones

La funcionalidad principal de un DXC consiste en conectar lógicamente subredes, lo que permitió desviar el tráfico activo de anillos STM-1 y STM-4 por anillos de concentración STM-16 hacia los Nodos principales “A” y “B” de la red y así liberar capacidad en dichos anillos.

Este tipo de redes se construyen con topologías en anillo bajo esquemas de protección redundante, por ello, durante la ejecución de la inserción del Nodo Concentrador a la red los servicios actualmente activos conmutaron a su trayectoria de protección y con ello se garantizó la disponibilidad del servicio en todo momento al usuario.

Los elementos de red permiten gestión remota y local, es decir, comunicación entre operador y el equipo lo cual permitió que durante la ejecución de la actividad no se perdiera gestión remota de ningún elemento de la red que impidiera la ejecución de este proyecto.

La ubicación del Nodo Concentrador se eligió mediante un análisis de tráfico de tal manera que el tráfico en los anillos lógicos de acceso estuviera balanceado, así mismo el Nodo Concentrador divide en dos trayectorias a dichos anillos; por tales razones con la inserción del Nodo Concentrador se duplica la capacidad en los mismos.

Con la ejecución de este proyecto la empresa podrá activar nuevos servicios con la misma frecuencia que lo hacía anteriormente e incluso podrá duplicar la cantidad de circuitos activos actualmente lo cual se verá reflejado en sus ingresos monetarios y en la cantidad de nuevos clientes que depositarán en ella la fiabilidad de su información crítica.

A partir de esta actividad se liberan fibras ópticas las cuales podrán ser reutilizadas para la habilitación de nuevos anillos o la renta del servicio de lo que es conocido hoy en día como Fibra Oscura.

El monitoreo y operación del XDM 1000 instalado como Nodo Concentrador no necesita de capacitación de personal debido a que en la red ya se encuentran instalados como Nodos Principales este tipo de equipos con los cuales ya se tiene gran experiencia.

La instalación de infraestructura no es un costo extra para la empresa debido a que ésta cuenta con su propia constructora y personal de Mantenimiento Planta Interna y Externa para la realización de estas actividades bajo sueldo.

Las peticiones de incremento de capacidad propuestas por la empresa se ven favorecidas con la puesta en marcha de este proyecto debido a que se optimiza la operación de activación de nuevos servicios a su red.

Bibliografía

LIBROS

Enciclopedia Encarta, Microsoft, 2000

SAFFORD, Edward L., "Introducción a la fibra óptica y el láser", Ed. Paraninfo, 1988

SANZ, José Martín, "Comunicaciones ópticas", Ed. Paraninfo, 1996

MANUALES

"SDH Telecommunications Standard Primer", Tektronix, 2001

ANGULO, Giovanni, "Jerarquía Digital Plesióncrona PDH"

BENITO, Gómez Mariano José, "FDDI una red de fibra óptica", E.T.S.I.T., Valladolid

PARRA, Alvarado José Isabel, "Fibra Óptica"

DIRECCIONES DE INTERNET

http://es.wikipedia.org/wiki/Conversi%C3%B3n_anal%C3%B3gica-digital#Comparaci.C3.B3n_de_las_se.C3.B1ales_anal.C3.B3gica_y_digital

[http://es.wikipedia.org/wiki/Digital_\(se%C3%B1al\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Digital_(se%C3%B1al))

http://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_anal%C3%B3gica

<http://halcon.laguna.ual.mx/metodologia/fibra/fibraopt.htm>

<http://informatica.aragon.unam.mx/ilhuicatl/fibra.html>

<http://manitos.tripod.com/multiplexaje.htm>

http://usach.jedicruces.cl/cap5/pdh_intro1.htm

http://usuarios.lycos.es/Fibra_Optica/

<http://www.alsurtecnologias.com.ar/glosario.php>

http://www.asifunciona.com/electronica/af_conv_ad/conv_ad_5.htm

<http://www.cicese.mx/~aarmenta/frames/redes/fddi/spanish.html>

http://www.eveliux.com/mx/index.php?option=com_content&task=view&id=22

<http://www.fortunecity.es/imaginapoder/artes/368/escuela/telecom/telecomunicacion.htm>

<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo10.htm>

<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo8.htm>

<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/sdh/capitulo9.htm>

<http://www.monografias.com>

<http://www.rediris.es/rediris/boletin/66-67/ponencia5.pdf>

<http://www.rediris.es/rediris/boletin/66-67/ponencia5.pdf>

<http://www.tektronix.com/optical>

<http://www.uco.mx/interfaces/interfaces2001/mesast/Mt12.pdf>

http://www.lacnic.net/documentos/lacnicx/Intro_Gestion_Red.es.pdf

http://en.wikipedia.org/wiki/Network_operations_center

<http://www.satec.es/esES/NuestraActividad/Soluciones/Paginas/RedesdeNuevaGeneracion.aspx>

CURSOS

“Fibra óptica”, Curso de actualización MetroNet, 2007

“Redes de transporte”, Curso de actualización MetroNet, 2007

“SDH (Synchronous Digital Hierarchy)”, Curso de actualización MetroNet, 2007

“Transmisión de señales”, Curso de actualización MetroNet, 2007

Apéndice A

Glosario de términos

Absorción. Es un proceso de transferencia de la energía de las ondas electromagnéticas o sonoras a un medio, cuando lo atraviesan o inciden sobre él.

ADM. Add and Drop Multiplexer (multiplexor de inserción y derivación). Es un elemento SDH que permite extraer en un punto intermedio de una ruta parte del tráfico cursado y a su vez inyectar nuevo tráfico desde ese punto.

Ancho de banda. Diferencia en hertzios (Hz) entre la frecuencia más alta y la más baja de un canal de transmisión. Se usa a menudo para referirse a la cantidad de datos enviados en un período de tiempo determinado a través de un circuito de comunicación dado.

Apuntador. Los apuntadores son variables que contienen direcciones de memoria de otras variables; es decir, referencias a otras variables. Evidentemente, el tipo de datos es el de posiciones de memoria y, como tal, es un tipo compatible con enteros.

Atenuación. Disminución gradual de la amplitud de una señal, pérdida o reducción de amplitud de una señal al pasar a través de un circuito o canal, debida a resistencias, fugas, etc. Puede definirse en términos de su efecto sobre el voltaje, intensidad o potencia. Medida en (dB).

Bidireccional. Comunicación bidireccional es aquella en la cual puede ser enviada información tanto desde un trasmisor hacia un receptor y viceversa.

Bit. Es una señal electrónica que puede estar encendida (1) o apagada (0). Es la unidad más pequeña de información que utiliza un ordenador. Son necesarios 8 bits para crear un **byte**.

Byte. Es también la unidad de medida básica para memoria, almacenando el equivalente a un carácter.

Calidad de servicio (Quality Of Service, Calidad de Servicio) garantiza que se transmitirá cierta cantidad de datos en un tiempo dado (throughput). Se refiere al desempeño del sistema de transmisión.

Canal de voz. Canal con un margen de frecuencias de 300 a 3,400 Hz, indicado para transmisión de voz, datos, fax o servicio telegráfico.

Código Morse. (tcc alfabeto Morse) es un sistema de representación de letras y números mediante señales emitidas de forma intermitente.

Conmutación. Es la conexión que realizan los diferentes nodos que existen en distintos lugares y distancias para lograr un camino apropiado para conectar dos usuarios de una red de telecomunicaciones.

Dato. Es el mínimo elemento con sentido dentro de un paquete de información.

Decibel. Unidad para medir la intensidad relativa de una señal, tal como potencia, voltaje, etc. El número de decibeles es diez veces el logaritmo (base 10) de la relación de la cantidad medida al nivel de referencia.

Demultiplexor. Es un circuito combinacional que tiene una entrada de información de datos d y n entradas de control.

Diafonía. Efecto de un acoplamiento perjudicial entre dos circuitos o canales, consistente en que las señales causadas en uno son perceptibles en el otro; el acoplamiento puede ser inductivo, capacitivo o conductivo.

E1. Es un enlace digital que contiene 30 canales de información, de 64 Kbps, y 2 de sincronización. En total transporta 2.048 Mbps.

Encabezado. Es una entidad lógica contenida en cada trama y sirve para direccionar paquetes.

Espectro electromagnético. Es el conjunto, ordenado por frecuencias o longitudes de onda, de la radiación electromagnética, desde ondas de radio de baja frecuencia y longitudes de onda larga, pasando por el infrarrojo, la luz visible y el ultravioleta, hasta los rayos gamma de alta frecuencia y longitud de onda corta.

Fase. La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente.

Frecuencia. Número de oscilaciones por segundo de una onda electromagnética (u otra). La frecuencia se mide, frecuentemente, en Hertz (Hz), donde una onda de una frecuencia de 1Hz oscila una vez por segundo.

Full duplex. Circuito o dispositivo que permite la transmisión en ambos sentidos simultáneamente.

Indisponibilidad de servicio. El circuito o enlace se encuentra afectado, si poder transmitir; puede ser por razones físicas o lógicas.

Interconexión. Comunicación efectuada entre dos o más puntos, con el objetivo de crear una unión entre ambos, sea temporal para efectuar una

transmisión puntual o fija, on-line, comunicando permanentemente dos máquinas.

Interferencia. Superposición de dos o más ondas, que da como resultado la suma de amplitudes (cuando coinciden crestas con crestas) y la cancelación de amplitudes (cuando coinciden crestas con valles); se habla entonces de interferencia constructiva y destructiva, respectivamente.

ITU-T. International Telecommunications Union – Telecommunications (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Es la encargada de Estandarizar lo relacionado con las telecomunicaciones.

LASER. (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ("Amplificación de Luz por Emisión Estimulada"). Amplificación de la luz por emisión de radiación estimulada; dispositivo que produce un estrecho haz de radiación monocromática de alta intensidad a longitudes de onda infrarrojas, ópticas o más cortas.

LED. (Light Emitting Diode) diodo emisor de luz. Un dispositivo luminoso de pequeño tamaño utilizado en electrónica.

Longitud de onda. La longitud de onda es un parámetro físico que indica el tamaño de una onda y que por lo general se denota con la letra griega lambda (λ).

Modulación. Modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una señal moduladora que se quiere transmitir (voz, música, datos).

Multiplexaje. Es la combinación de múltiples canales de información en un medio común de transmisión de alta velocidad.

Multiplexor. Dispositivo utilizado en líneas de comunicación, que actúa como un embudo transmitiendo señales de datos separadas a través de un sólo canal simultáneamente.

Paridad. Método sencillo de comprobación de errores en una comunicación, que consiste en añadir un bit al final de cada bloque de datos, de forma que el número total de unos sea par (paridad par) o impar (paridad impar).

PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) Jerarquía Digital Plesiócrona. es una tecnología usada en telecomunicación tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión.

Potencia óptica. Es la magnitud física que mide la capacidad de una lente o de un espejo para hacer converger o divergir un haz de luz incidente.

Protocolo. Es un conjunto de reglas que permiten el intercambio de información entre computadores y servidores.

Refracción. Es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos.

Sensitividad. Es la capacidad de un dispositivo para responder a señales débiles, donde la mínima potencia de la señal deseada que el receptor puede detectar se define con sensibilidad ó sensibilidad.

Señal tributaria. Es el conjunto de señales que son multiplexadas en un sistema de telecomunicaciones.

Señales plesiócronicas. Es el conjunto de señales las cuales a su salida no se sincronizan a una fuente de reloj.

Señales síncronas. Es el conjunto de señales las cuales a su salida se sincronizan a una fuente de reloj.

SONET. Son las siglas de Synchronous Optical Network; es una tecnología de la capa física diseñada para proporcionar una transmisión universal. Esta tecnología es regularizada por las normas nacionales americanas instituidas (ANSI).

TDM. Son las siglas de la multiplexación por división de tiempo; es una técnica que permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión.

Topología. Se define como una familia de comunicación usada por los computadores que conforman una red para intercambiar datos. En otras palabras, la forma en que está diseñada la red, sea en el plano físico o lógico

Tráfico de red. Es el volumen o la carga lógica de señales que viajan a través de una red

Trama. Se le denomina así al contenedor virtual, el cual realiza el encapsulado de señales para la transmisión de las mismas.

Transductor. Es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valor muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

Transmisión de datos. Es la transferencia física de bits por un canal de comunicación.

Unidireccional. Es la dirección de una corriente o de una onda que es propagada en un solo sentido.

Apéndice B

Cotizaciones

Cantidad	Proveedor	Descripcion	Precio Integrador	Precio Total
1	POWERGYWORKS	PLANTA DE FUERZA MCA. CONLEY 2+0/37.5 AMP -48VCD 75 AMP CON CRECIMIENTO A 225 AMP	\$ 36,586.50	\$ 36,586.50
1	POWERGYWORKS	BANCO DE BATERIAS SELLADAS Y LIBRES DE MANTENIMIENTO MARKA DEKA	\$ 22,280.00	\$ 22,280.00
4	BIOTEL	CHAROLA METALICA PARA ALOJAR EQUIPOS EN RACK 19" CON DIMENSIONES DE 19"X15" DE PROFUNDIDAD A BASE DE LAM. CAL. 18 CON 2 UR, ACABADO EN PINTURA ELECTROSTATICA COLOR NEGRO	\$ 260.00	\$ 1,040.00
10	BIOTEL	SUMINISTRO DE PANEL DE DISTRIBUCIÓN DIGITAL DE 21 PUERTOS CON POSICIÓN DOBLE PARA RACK DE 19" EN COLOR GRIS	\$ 459.50	4,595.00
5	BIOTEL	SUMINISTRO DE PANEL DE DISTRIBUCIÓN DIGITAL DE 8 PUERTOS OPCIÓN "B" CON POSICIÓN DOBLE PARA RACK DE 19" EN COLOR GRIS	\$ 254.64	1,273.20
2	BIOTEL	SUMINISTRO DE PANEL DE FUSIBLES MCA. TRIMM 10+10 +/-24 a 48 VCD PARA RACK DE 19",	\$ 3,685.00	7,370.00
2	OSRAMI-TELECOM	STANDARD RACK 45 RMU, GROUNDED, UL LISTEN, BLACK, 19" (483 mm) W x 3" (76 mm) D x 84"	\$ 1,855.05	\$ 3,710.10
1	COBRA ELECTRONICA	BOBINA DE CABLE MICROCOAXIAL CECBV75-2	\$ 8,500.00	\$ 8,500.00
1	POWERGYWORKS	INSTALACION	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00
			SUB-TOTAL	\$ 111,644.70
			I.V.A	\$ 16,746.70
			TOTALES	\$ 128,391.40

Cantidad	Tarjeta/Modulo	Descripcion	Precio Unitario USD	Precio Total USD
1	XDM-1000 SHELF	12 I/O slots, 11 CCP slots, power consumption 2200w. This PN includes xINF_HP and does not include the door	6,632	13,264
2	HLXC768	Matrix card 768 STM-1 equivalent (120 Gbps) 4c/4/3/2/1 for the XDM1000/2000. All XDM's service cards (include V6 10Gbps cards) can operate with the HLXC768. HLXC768 require V6 xMCP_B controller card. Migration details from HLXC384 to HLXC768 can be found	4,997	9,994
2	MECP	External Connection Panel Module	366	732
4	NVM-C256	NVM 256 Mbyte compact Flash- Non Volatile memory of 256 Mbyte compact Flash.	98	392
6	XFCU_HP	XDM Fan Control Unit for power consumption more than 1500w (3 per XDM shelf). Required for Sonet and more than 1200 meter high installation on SDH.	230	1,380
2	XIO384	Cross-connect (HLXC) & SIO card on the same base card. Capacity of 384 STM-1s equivalent (60 Gbps), 4c/4/3/2/1. Can be installed in the X1 and X2 slots XDM1000/2000/500. It can has 4 x STM-16 SFP interfaces or 1 x STM-64 interface. Bandwidth allocations d	3,841	7,682
2	OMTX10_S	Client module for STM64/OC192 XFP.For TRP10_2B - SIO164 or XIO384F card.	699	1,398
2	OTR64_L5	STM-64/OC-192 client transceiver XFP, 1550nm long reach. 80km	4,159	8,318
4	XMCP_B2G	Main Control Processor card required in case of HLXC768 on XD1000, XDM40 *or* XDM3000. It includes: 833 Mhz processor, 2 Gbyte Ram and COM RAM Memory of 64 Mbyte. This card is backward compatible. Can be used on V6.1 and above. The software of V7.2 will o	1,687	6,748
MSPP Components				
22	Blank CCP Panel	Blank Panel for Unused MIO slots	12	264
4	SIO1/4M Base Card	Base card for OC3 and OC12 with QSP_NA. VC3 PM is available. Same optical modules from SDH suitable also for Sonet.	1,482	5,928
16	OMS01_4	Module for existing STM1&4 and SIO1&4M I/O cards. It has four sockets for 4 x STM-1SFP transceivers.	191	3,056
64	OTR1_S3	STM1 transceiver, short haul 1310nm	142	9,088
2	SIO64_1 (SIO164)	Single slot 10Gbps base card that support 1 STM64 interface or 4 x STM16 SFP. Plugs into slots of XDM 500/1000/2000. It has configurable FEC mechanism per interface on the card via SW for the STM16 and STM64.	4,055	8,110
2	OMTX10_S	Client module for STM64/OC192 XFP.For TRP10_2B - SIO164 or XIO384F card.	699	1,398
2	OTR64_L5	STM-64/OC-192 client transceiver XFP, 1550nm long reach. 80km	4,159	8,318
Accessories				
2	Mounting Kit for ETSI rack on concrete floor	RACK MOUNTING KIT ETSI	31	62
2	Fiber Optics holder for ETSI rack	Fiber Optics holder for new racks	45	90
2	ETSI Rack 2.2m	RACK ETSI 2.2M NEW ASSY	816	1,632
4	Fiber Spooler Tray for ETSI/19" rack	SPOOLER FOR RACK ETSI/19 INCH	237	948
4	C.BRK 60A 80VDC 1POLE	C.BRK 60A 80VDC 1POLE	15	60
4	Power Cable for XRAP 25A	CABLE PWR 5W5S/5C-XRAP100 2.7M	31	124
Shelf Accessories				
136	CORD FOP LC/LC SM D2.0 5.0M	CORD FOP LC/LC SM D2.0 5.0M	13	1,768
4	ATTENUATOR LC/LC 5DB	ATTENUATOR LC/LC 5DB	38	152

2	XRAP_D UNIT ASSY	XRAP_D- xRAP for two XDMs (Optimal for XDM1000/2000/500)	611	1,222
20	CB-TIE 6	CB-TIE 6	2	40
2	Screw set for rack access. PI	SCREW SET FOR RACK ACCESS. PL	10	20
272	CORD FOP LC/LC SM D2.0 20M	CORD FOP LC/LC SM D2.0 20M	26	7,072
2	DOOR WIDE SUPER DEEP (40MM) ASSY	Super deep door for XDM1000 required in case of SFP and xSFP.	475	950
2	CABLE I/O+ALR XDM TO XRAP-B 2.7M	CABLE I/O+ALR XDM TO XRAP-B 2.7M	30	60
			TOTALES	100,270.00

Cantidad	Proveedor	Descripcion	Precio Integrador	Precio Total
2	FIBREMEX	DISTRIBUIDOR PRECONECTORIZADO 4UR CON 48 ACOPLADORES LC/UPC DUPLEX MONOMODO 9/125 CON 96 PIGTAILS Y 96 MANGAS	\$ 933.00 USD	\$ 1,866.00 USD
2	FIBREMEX	DISTRIBUIDOR PRECONECTORIZADO 2UR CON 24 ACOPLADORES LC/UPC DUPLEX MONOMODO 9/125 CON 48 PIGTAILS y 48 MANGAS	\$ 456.00 USD	\$ 912.00 USD
			SUB-TOTAL	\$ 2,778.00 USD
			I.V.A	\$ 416.70 USD
			TOTALES	\$ 3,194.00 USD

Apéndice C

Especificaciones técnicas

XDM-1000 Platform

The XDM-1000 is fully modular, with its various functions incorporated on separate cards. The main functional subsystems of the XDM-1000 are:

- Traffic processing: I/O cards, and High-Order/Low-Order Cross-Connect Matrix/Card (HLXC) or High-Order/Low-Order Cross-Connect and I/O (XIO) cards
- Timing and synchronization: In the HLXC or XIO cards
- Control and communication: In the XDM xMCP and XDM MECP cards
- Power feed: Including local power supply circuits on each card and XDM xINF units
- Cooling fans

For added EMC protection, during routine operation the XDM-1000 is closed by a door attached to hinges. An extractor tool for optical connectors is placed in a special holder located in the external left-hand wall of the shelf.

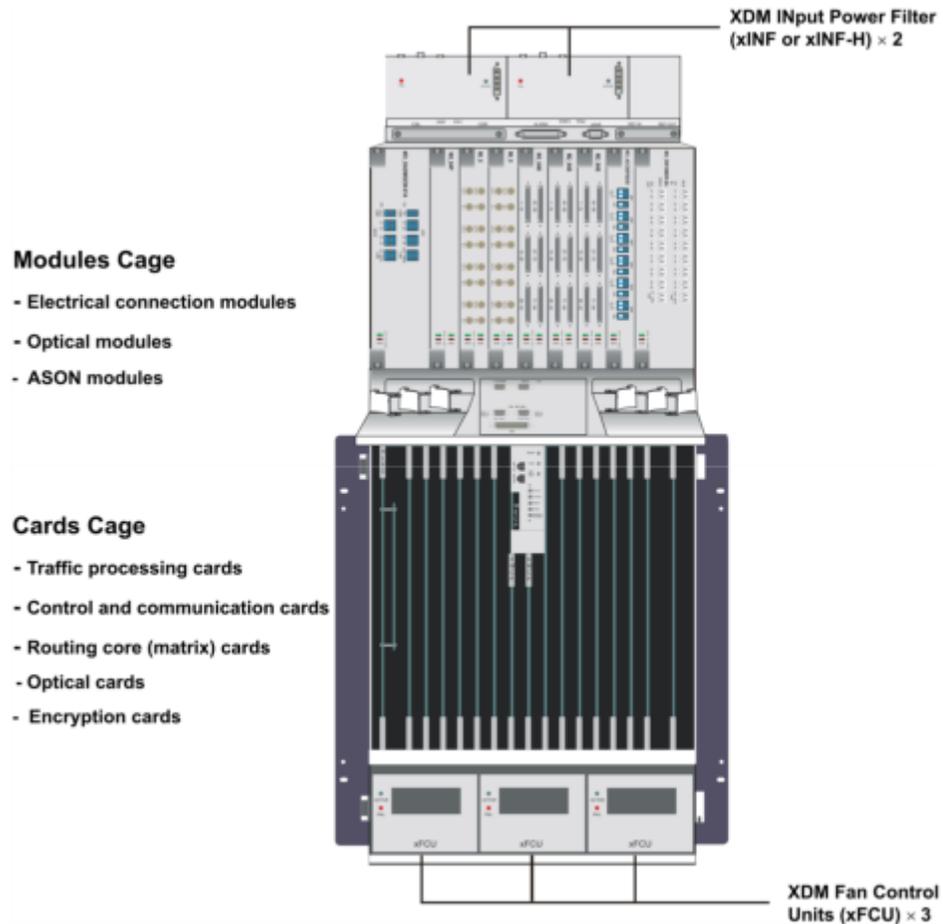


Figure 2-5: XDM-1000 front view

The XDM-1000 consists of a cards cage, a modules cage, and other power, communication, and control units.

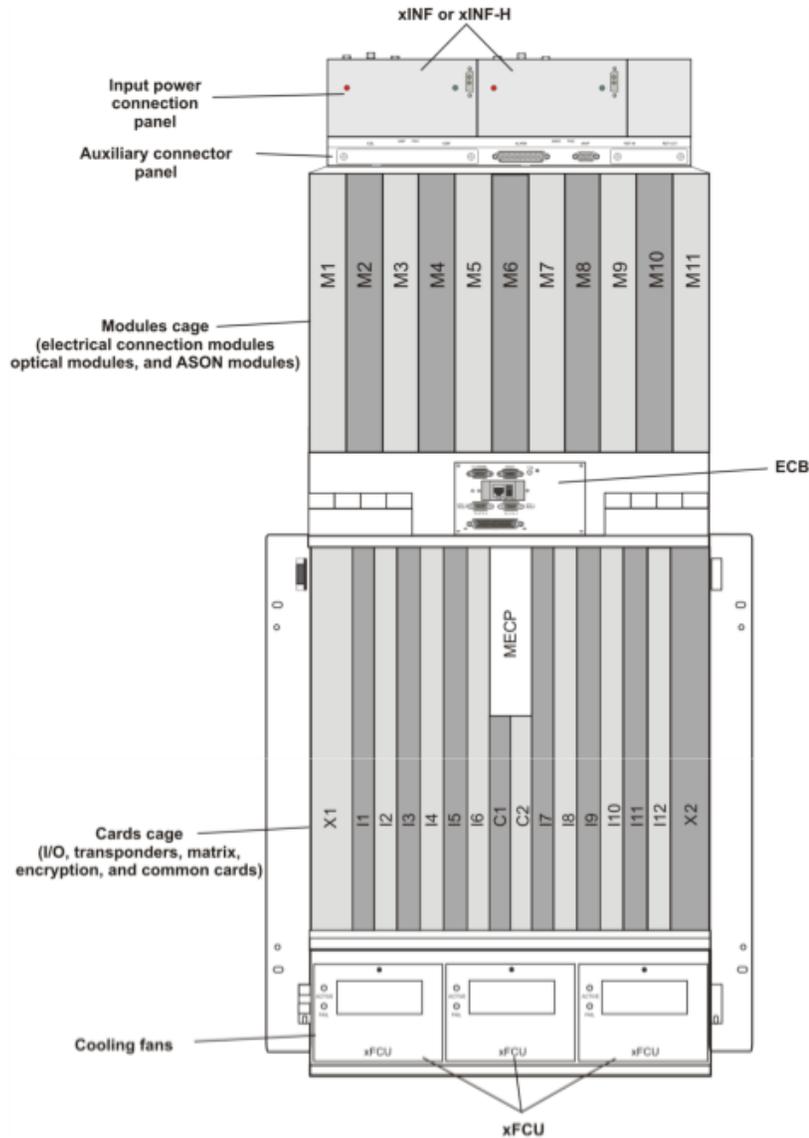


Figure 2-6: XDM-1000 sections and functions

The XDM-1000 includes the following sections:

- Input power connection panel with two xINF or xINF-H units.
- Auxiliary connector panel. This section includes connectors for alarm indication and monitoring, and for maintenance functions. These connectors are protected by covers that should not be removed during installation.

- Modules cage with 11 slots designated M1 through M11. These slots are used for:
 - Installing electrical connection modules for the I/O cards with electrical interfaces installed in the cards cage. Each electrical connection module installed in these slots serves the I/O slot with the same number in the cards cage.
 - Installing DWDM support modules, for example, optical amplifiers, OADMs, Reconfigurable OADMs (ROADMs), Muxes, and DeMuxes. These can be installed in any slot not occupied by electrical connection modules.
 - Installing ASON ACP1000 control plane cards.
- External connection board (xECB) located under the modules cage, which provides connections to the clock interfaces (T3 and T4 for 2.048 MHz/2.048 Mbps), and for operation support functions (EOW, user channel, and SDH overhead).
- Cards cage with 12 I/O slots designated I1 through I12, for installing the following I/O cards:
 - PDH cards for E1 (2.048 Mbps), E3 (34.368 Mbps), and DS-3 (44.736 Mbps). These cards have electrical interfaces; therefore, electrical connection modules must be installed in the corresponding slots in the modules cage.
 - SDH I/O cards for STM-1 (155.52 Mbps), STM-4 (622.08 Mbps), STM-16 (2488.32 Mbps), and STM-64 (9.95328 Gbps), available with optical interfaces. In addition, SIO1&4 and SIO1&4B cards are also available with electrical STM-1 interfaces, which require electrical connection modules (M1_16BT and M1_16SFP).
 - Data I/O cards with Ethernet interfaces. Various combinations of GbE, FE, and STM-16 ports and interfaces are available.
 - ◆ Layer 1 Data I/O cards (DIOB and DIO) with 8 optical GbE/FE ports, 8 electrical GbE ports, and 8 electrical FE ports, for a total of 24 ports.
 - ◆ Layer 2 Data I/O cards (EIS) with 4 GbE ports and 24 FE ports.
 - ◆ Layer 2/MPLS/Carrier Ethernet switch cards (MCS5/MCS10), with 8 optical ports and 16 electrical ports supporting a total of 32 ports that can be assigned as either an ETY (LAN client) or EoS/MoT (WAN) port, in any combination of up to 32 ports, with a maximum of 24 ETY ports.

Various combinations of optical and electrical ports are available, enabling you to design a configuration tailored to your specific requirements. The optical ports use SFP modules plugged into the card itself. The electrical interfaces on the DIOB and MCS cards are physically located on an ME16 module in the corresponding slot in the modules cage.

- ATS cards.
- Aurora-G Layer 2 GbE encryption cards.
- Optical transponders and optical accessory cards. When cards with optical interfaces (either I/Os or transponders) are installed in the cards cage, the corresponding modules cage slots are free for installing WDM support modules.



NOTE: Only cards with optical interfaces can be installed in slot I12 because there is no corresponding modules cage slot.

- Two slots designated X1 and X2, for HLXC or XIO matrix cards. These slots can also be used for optical DWDM support cards.



NOTE: When using XIO cards, see XDM-1000 slot capacities (on page 4-13) for XIO192 cards, and XDM-1000 and XDM-2000 slot capacities (on page 4-21) for XIO384F cards for information regarding I/O slot capacities.

- Two slots designated C1 and C2 for xMCP cards.
- One slot for the MECP, MECP_OSCxx, MECP_OW, or MECP_OCxxOW. (OW in the card designation indicates built-in support for the OW.) The MECP_OSCxx and MECP_OCxxOW cards provide optical out-of-band management communication interfaces for the two xMCP cards.
- Cooling fans section, with three XDM xFCUs. To reduce the amount of dust carried by the cooling airflow, air filters can be installed on the shelf. Two types of air filters can be ordered - for regular sites or to meet the stricter NEBS requirements.



NOTE: Air filter kits can also be ordered for installation on already supplied XDM-1000 shelves.

Typical power consumption for the XDM-1000 is 1200 W. Power consumption can range up to a maximum of 1800 W, depending on the installed components and platform configuration. Various XDM-1000 platform configuration options are described in Shelf Versions (on page 2-15). For more information about power consumption requirements, please refer to the *XDM-1000 Installation and Maintenance Manual* and the *XDM System Specifications*. Power consumption is monitored through the management software.

Cards Cage Slot Utilization

Table 2-2: Utilization of XDM-1000 cards cage slots

Slot	Utilization
X1, X2	<p>Installation of HLXC or XIO matrix cards. Because these cards are mission-critical, HLXC or XIO cards are installed in both slots (always the same type in each slot).</p> <p>It is not possible to replace an XIO card with an HLXC card, because the matrix card defines the NE install state type. However, a given card can be upgraded to another card of the same type.</p> <p>For applications in which the XDM-1000 shelf is not used to process traffic, for example, when it is used for housing transponders, the slots can also be used to install various optical DWDM support or auxiliary cards.</p>
I1 to I12	<p>Installation of I/O cards.</p> <p>Each of the I1 to I12 slots is internally connected to the X1 and X2 slots by proprietary wideband buses capable of carrying 10 Gbps (the actual capacity depends on the type of matrix card installed in the shelf). The bandwidth available on these buses determines the slot capacities.</p> <p>For a complete list of I/O slot utilization requirements and restrictions, see the XDM-1000 slot utilization table in the <i>XDM-1000 Installation and Maintenance Manual</i>.</p> <p>In addition to I/O cards, the I/O slots can be used to install other card types, such as Aurora-G and auxiliary (AUX-2I) cards.</p> <p>Slot I12 has no associated slot in the modules cage. Therefore, this slot can accommodate only ATS cards, cards with optical interfaces, and SIO1&4B cards without a corresponding MI_16SFP module.</p>
C1, C2	<p>Installation of XDM xMCP cards that include the shelf control and communication subsystem.</p> <p>Only one xMCP card is required per shelf. The card should be installed in slot C1. For redundancy, an additional xMCP card can be installed in slot C2. Before any software update, it is recommended to check the required xMCP type.</p>
MECP	<p>One slot for the Main Equipment Control Panel card, (MECP, MECP_OW, MECP_OSCxx, or MECP_OCxxOW, see MECP (on page 4-30)). The MECP_OSCxx and MECP_OCxxOW cards provide the optical out-of-band management communication interfaces for the two xMCP cards.</p> <p>Two MECP_OSCxx/MECP_OCxxOW versions are offered, one for operation at 1310 nm, and one for operation at 1510 nm. The 1510 nm version is available in several models, for use with different amplifiers and supporting data rates of either 155 Mbps or 2 Mbps, with maximum reach ranging from 115 km up to an ultra-long range of more than 200 km, unregenerated.</p> <p>NOTE: An xECB (on page 4-36) card, which carries additional interfaces, is located in a separate position in the shelf.</p>

Modules Cage Slot Utilization

The modules cage has 11 slots identified as M1 through M11. These slots can be used for the following purposes:

- Installation of electrical connection modules and electrical protection modules for I/O cards with electrical interfaces installed in the cards cage. An electrical connection module installed in an M slot provides the interfaces needed to connect the external lines to the I/O card installed in the I slot with the same number.



NOTE: Since there are only 11 M slots, slot I12 can be used only for cards that do not require an electrical connection or protection module.

- Installation of DWDM support modules, such as optical amplifiers, OADM modules, and Mux and DeMux modules. These modules can be installed in any slot not occupied by electrical connection modules.
- Installation of ASON ACP1000 control plane cards.

Shelf Versions

XDM-1000 shelves are available in several functionally equivalent versions that differ in the maximum power that can be supplied to the installed components. The shelf version is identified by its revision (Rev.) number. Because of the importance of the maximum power rating, management stations can also read the shelf revision number.

The maximum power that can be supplied depends not only on the shelf backplane, but also on the installed xINF and the xRAP or user-provided power distribution panel through which the power sources are connected.



NOTE: The power that can be supplied by the xRAP-100 depends on the ratings of the installed circuit breaker. This is also the case when a user-provided power distribution panel is used.

The following table lists the maximum allowed power consumption data for the XDM-1000 shelves, the required xRAP type, and the supply line protection fuse. For more detailed information, see the *XDM System Specification*.

Table 2-3: Maximum power consumption data

Shelf type	Maximum power	xRAP type	Fuse	FCU	INF
XDM-1000 Rev. A0/A01 (regular backplane)	1000 W	HP, B, or D	25A	Regular	Regular
XDM-1000 Rev. A0/A01 (regular backplane)	1200 W	HP, B, or D	30A	Regular	Regular
XDM-1000 Rev. A02/A03/A04 (regular backplane)	1500 W	HP, B, or D	40A	Regular or HP	HP
XDM-1000 Rev. B0 (HP backplane)	1800 W ¹	HP, B, or D	55A	Regular or HP	HP



NOTE: For the XDM-1000 utilizing 1500 W or 1800 W maximum power, xFCU-HP is required when working with HLXC768, SIO1&4B, SIO164, SIO16_2B/4B, SIO64B, DIOB, or MCS5/MCS10 cards.

¹ Requires new feeding cable (power cable 5W5/5C) between the RAP and the INF to support the increased power requirement.

Management Architecture

EMS-XDM

The EMS-XDM is an Element Management System (EMS) that provides a wide range of XDM management functions, including alarms, configuration, inventory, provisioning, and security management.

The EMS-XDM can operate standalone or directly under ECI Telecom's LightSoft network management system on the same platform. It can also be integrated under a non-ECI Telecom network management system or Telecommunications Management Network (TMN) umbrella system.

The EMS-XDM communicates with the network manager via an open CORBA interface based on the TeleManagement Forum MultiTechnology Network Management (TMF MTNM) standard.

The application uses its station's Ethernet port to communicate with the gateway network element (NE). The Digital Communications Channel (DCC) is used to communicate with other NEs in the network (usually other elements use only the DCC for management communication).

XDM-1000



Figure 3-26: Typical XDM-1000 shelf view window

LCT-XDM

The LCT-XDM is a PC-based installation, maintenance, commissioning, and configuration tool for field technicians. It provides rapid direct connection to deployed NEs using a standard simple serial interface. The LCT-XDM is version-independent since the necessary software is embedded in the NE itself.

LCT-XDM supports all the functionality required by a technician arriving at a site: full installation, NE commissioning (including slot assignment, IP routing, and DCC ports configuration), full definition of cross connections, and troubleshooting. The system provides the user with a clear view and control of NE internals, cards and objects, status, and configuration. Access from the LCT-XDM is password-protected to ensure that only authorized personnel can access the field-installed equipment.

XDM-1000

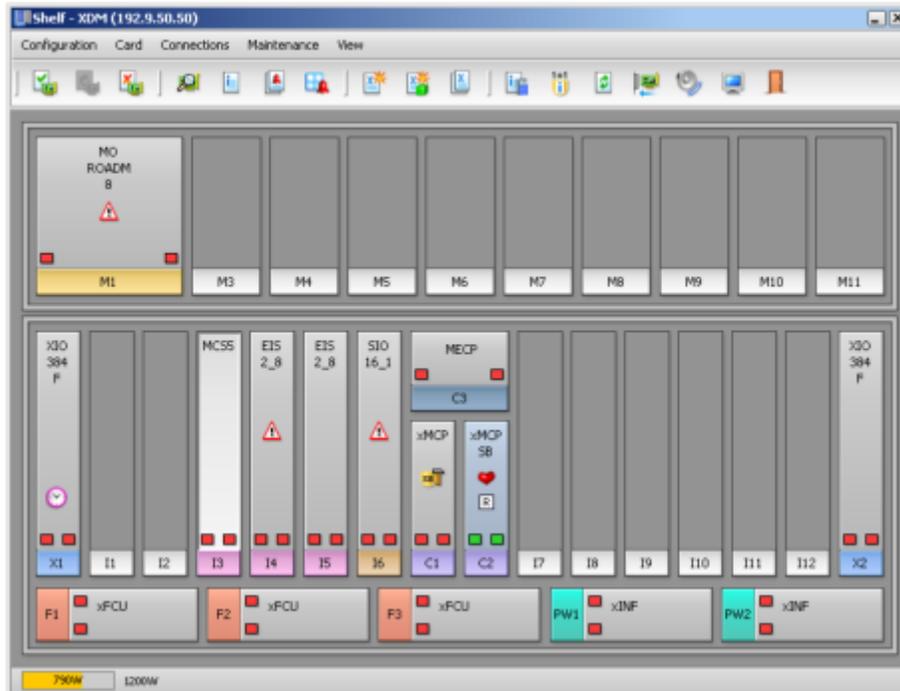


Figure 3-31: Typical XDM-1000 Shelf window

LightSoft

LightSoft is a multidimensional network management system managing the complete family of element management systems (EMSs) offered by ECI Telecom. LightSoft enables you to assume full control of all equipment in your network, including:

- XDM transport platforms
- BroadGate family of multiservice products for access applications
- ECI Telecom's Carrier Ethernet 9000 family of switch/routers
- SYNCOM multiplexer family at the STM-1, STM-4, and STM-16 layers
- Multivendor networks

LightSoft is a unified NMS that provisions, monitors, and controls all network layers, enabling you to manage multiple technology layers (SDH, data, and optical) independently of the physical layer. This offers on-demand service provisioning, pinpoint bandwidth allocation, and dramatic reductions in the equipment and operating costs that multiple management systems often require. It does this by providing all facets of network management, network-wide, end-to-end, from a single platform. Management features include configuration, fault management, performance management, administrative procedures, maintenance operations, and security control. Within one integrated management system, LightSoft enables you to fully control all of your NEs regardless of their manufacturer, and view the complete network at a glance. With LightSoft, multiple operators can simultaneously configure the network while preventing any configuration conflicts.

Alarm Indications

The XDM includes two connectors for alarm monitoring and reporting that must be connected to external lines through the XDM Rack Alarm Panel (xRAP):

- **ALARMS connector** carries two groups of lines:
 - Eight alarm input lines, all of them referenced to the shelf ground. These inputs, intended for connection to physical ON/OFF ("dry") contacts, are monitored by the XDM management subsystem. Each input is connected to the input diode of an optocoupler.
 - Eight alarm output lines controlled by the XDM management subsystem, all of them referenced to the shelf ground. Each output is provided by the open collector of an optocoupler, and its active state is the low logic level. The xRAP converts these outputs to physical ON/OFF contacts.
- **xRAP connector** carries:
 - Shelf major and minor alarm outputs, which indicate the state of the XDM alarm LEDs
 - Buzzer control line

All the outputs are referenced to a common line, which is floating relative to chassis ground.

HLXC Cards

The heart of the XDM-1000 product line is its powerful high capacity 4c/4/3/1 nonblocking HLXC matrix card. It is available in several versions:

- **HLXC192**: capacity of 192 VC-4 equivalents (4c/4/3/1) (30 Gbps).
- **HLXC384**: capacity of 384 VC-4 equivalents (4c/4/3/1) (60 Gbps). Note that the HLXC384 supports 32 STM-1 streams per I/O slot (12 x 32 = 384).
- **HLXC768**: capacity of 768 VC-4 equivalents (4c/4/3/1) (120 Gbps). Note that the HLXC768 supports 64 STM-1 streams per I/O slot (12 x 64 = 768), working with the upgraded TMU-L and xMCP-B.
- **HLXC1536**: capacity of 1536 VC-4 equivalents (4c/4/3/1) (240 Gbps). Note that the HLXC1536 supports 64 STM-1 streams per I/O slot (24 x 64 = 1536), working with the xMCP-B2G (Rev.D).

NOTES:



- ◆ The HLXC192 is supported in the following shelves:
XDM-500
XDM-1000
XDM-2000
- ◆ The HLXC384 and HLXC768 are supported in the following shelves:
XDM-1000
XDM-2000
- ◆ The HLXC768 cards require use of the high power xFCU module (xFCU-HP).
- ◆ The HLXC1536 cards are designed for use in the XDM-3000 shelf only, and require use of the FCU3000, the INF3000, the TMU-L, and xMCP-B2G Rev.D components.

See the *XDM Installation and Maintenance Manuals* for more information.

xMCP/xMCP-B/xMCP-B2G

The XDM xMCP/xMCP-B/xMCP-B2G cards house the main XDM control and communication subsystem. The main card functions are:

- XDM system initialization, control, and configuration
- Storage of the configuration database and application software
- Alarm handling
- Maintenance functions
- Management communication functions
- Handling operations support functions (OW and user channels carried in the SDH overhead)

Various versions of the xMCP and xMCP-B cards are available with different memory capacity to match the expected processing requirements.



NOTES:

- The xMCP/xMCP-B/xMCP-B2G cards are supported in the following shelves:
 - XDM-500
 - XDM-1000
 - XDM-2000
 - The XDM-3000 platform requires use of the xMCP-B2G (Rev.D).
 - The generic term **xMCP** is used to refer to all card versions. The specific card designation is used whenever the information is applicable to only one version.
-

MECP

The MECP supports XDM management and communication functions. Several models are offered:

- MECP – basic MECP
- MECP_OW – basic MECP with support for the EOW
- MECP_OSCxx – basic MECP with optical network interfaces for the OSC
- MECP_OCxxOW – same as MECP_OSC with OW support



NOTES:

- The various MECP models are all supported in the following shelves:
XDM-40
XDM-500
XDM-1000
XDM-2000
- The XDM-3000 platform requires use of the MECP_OW card.

Table 4-11: MECP and MECP_OW indicators and functions

Connector/ Indicator	Function
MNG MAIN	RJ-45 connector for main Ethernet 10BaseT management interface.
OW	RJ-11 connector for engineering OW (MECP-OW only).
MNG PROT	RJ-45 connector for protection Ethernet 10BaseT management interface.
DOOR	Pushbutton sensing state of XDM shelf door (open or closed).
ACO	Alarm Cut-Off pushbutton disabling buzzer activation line in xRAP connector of the shelf while an alarm condition is present. This mutes the xRAP buzzer. If a new alarm condition is detected, the buzzer is reactivated.
LED TEST	Pushbutton turning on all indicators on cards installed in the shelf for test purposes.
ACTIVE	Green, lights when card is powered and operates normally.
CRITICAL	Red, lights when highest severity unacknowledged alarm in the shelf is critical.
MAJOR	Orange, lights when highest severity unacknowledged alarm in the shelf is major.

SDH I/O Cards



NOTE: The SDH I/O cards are supported in the following shelves:
XDM-500
XDM-1000
XDM-2000
XDM-3000

SDH I/O (SIO) cards provide interfaces for connecting SDH signals to the central cross-connect matrix of the XDM in the HLXC or XIO cards. Note that SIO cards with optical interfaces can be installed in the XDM-2000 provided it is equipped with HLXC cards.

The SIO cards currently offered by ECI Telecom are listed in Overview (on page 5-1). They contain line interface circuits, SDH signal processing circuits, and internal interfaces to the HLXC or XIO cards. To add flexibility when selecting the physical line interface, each type of SIO consists of a common printed circuit (called base card) that supports various types of physical interfaces, as follows:

- Optical interfaces (optical transceivers) contained in plug-in modules that plug into connectors on the base card. SIO1&4B cards work with SFP modules that are installed directly onto the base card, without an additional plug-in module base or CCP module. The I/O card can be equipped with the optical transceivers needed to achieve the required optical interface specification. Moreover, optical transceivers can be replaced in the field to meet changing requirements. Note that optical interfaces are the only interfaces available for the XDM-2000 shelves.
- When an SIO1&4_XX or SIO1&4M_XX card is equipped with electrical STM-1 interfaces, electrical connection module types M1_16 or M1_8 are needed. These modules contain the physical interface and traffic protection circuits. Electrical connection modules are installed in the CCP slots of the XDM-1000 or the XDM-500.
- SIO1&4 or SIO1&4M cards with electrical interfaces can be installed in slots I1 through I11 of the XDM-1000 or slots IC1, IC2, IC5, and IC6 of the XDM-500.

When several SIO1&4 or SIO1&4M cards with electrical interfaces are installed in an XDM-1000 or XDM-500 shelf, it is possible to add protection for the electrical interfaces. In this case, one of these cards is used as a protection card and an electrical protection module, M1_16P, which does not have external interfaces, must be installed in the corresponding CCP slot.

- When an SIO1&4B card is configured together with an M1_16SFP module in the corresponding CCP slot, the SIO1&4B can deliver up to 16 optical STM-1 or STM-4 and up to 16 additional electrical or optical STM-1 interfaces without IOP.



NOTE: The M1_16SFP cannot be used alone - it is only used together with the SIO1&4B card.

SIO1&4_XX



NOTE: The SIO1&4 modules are supported in the following shelves:
XDM-500
XDM-1000
XDM-2000

The SIO1&4 supports STM-1 and STM-4 interfaces up to a maximum of 16 STM-1 ports can be equipped with electrical (e) or optical (o) interfaces. STM-4 ports can be equipped only with optical interfaces. The SIO1&4 card has four positions for extractable optical modules. Each position supports either an optical module with quad STM-1 optical transceivers, or an optical module with one STM-4 optical transceiver.

Starting from XDM V4.2, it is possible to operate electrical and optical interfaces on the same base card, as well as mixed bitrates. This new functionality is available when upgrading from previous versions, and under certain limitations it is possible to ensure that reassignment is non-traffic-affecting.

When using electrical ports, it is always necessary to install electrical connection modules in the corresponding modules cage slots of the shelf. It is also necessary to have electrical interface modules installed for the SIO1&4 cards on which it is planned to add electrical interfaces, in addition to the existing optical interfaces.



NOTE: For maximum flexibility when allocating mixed electrical and optical interfaces, an M1_16 interface module must be used, even if the number of electrical interfaces to be assigned is eight or less.

Table 5-15: SIO1&4B optical extractable modules

SFP	Description
STM-1	
OTR1_S3	Optical STM-1 short haul transceivers, 1310 nm, for 15 km.
OTR1_L3	Optical STM-1 long haul transceivers, 1310 nm, for 40 km.
OTR1_L5	Optical STM-1 extra haul transceivers, 1550 nm, for 80 km.
OTR1_X5	Optical STM-1 extra haul transceivers for OSC supervisory channel (37 dB), 1550 nm, for 150 km
OTR1_VL5	Optical STM-1 very long haul transceivers for OSC supervisory channel (42 dB), 1550 nm, for 170 km
OTR1_S3BD	Optical bidirectional STM-1 short haul transceivers, 1310 nm Tx / 1550 nm Rx, for 15 km. Both sides of the link must be bidirectional. The other side of the link must be an OTR1_S5BD.
OTR1_S5BD	Optical bidirectional STM-1 short haul transceivers, 1550 nm Tx / 1310 nm Rx, for 15 km. Both sides of the link must be bidirectional. The other side of the link must be an OTR1_S3BD.
OTR1_L3BD	Optical bidirectional STM-1 long haul transceivers, 1310 nm Tx / 1550 nm Rx, for 40 km. Both sides of the link must be bidirectional. The other side of the link must be an OTR1_L5BD.
OTR1_L5BD	Optical bidirectional STM-1 long haul transceivers, 1550 nm Tx / 1310 nm Rx, for 40 km. Both sides of the link must be bidirectional. The other side of the link must be an OTR1_L3BD.
ETR1	Electrical STM-1 transceiver for the M1_16SFP with DIN connector, for 100 m.
STM-4	
OTR4_S3	Optical STM-4 short haul transceivers, 1310 nm, for 15 km.
OTR4_L3	Optical STM-4 long haul transceivers, 1310 nm, for 40 km.
OTR4_L5	Optical STM-4 extra haul transceivers, 1550 nm, for 80 km.

SIO164



NOTES:

- The SIO164 modules are supported in the following shelves:
XDM-500
XDM-1000
XDM-2000
XDM-3000
- The SIO164 cards require use of the high power xFCU modules as well as the xMCP-B or xMCP-B2G. See the *XDM Installation and Maintenance Manual* for more information.

The SIO164 card can be configured to support four STM-16/OTU1 interfaces or one STM-64/OTU2 interface in a single I/O slot.

The SIO164 can only be used in shelves with <HLXC1536>, HLXC768, or XIO384F cross-connect matrix cards. Support for four STM-16/OTU1 interfaces or one STM-64/OTU2 interface requires a 10 Gbps slot. The SIO164, with either configuration, supports MS-SPRing.

SIO164 Modules and Transceivers

The SIO164 card can be configured to support four STM-16/OTU1 interfaces or one STM-64/OTU2 interface in a single I/O slot. These interfaces are located on extractable modules. The following table lists the modules, and the transceivers for each module, that can be used with the SIO164 card. The modules are arranged by interface.

Table 5-31: SIO164 modules and transceivers

Interfaces	Modules	Transceivers	Description
STM-16/OTU1	OMSC16_4	Module that can hold up to 4 STM-16/OTU1 transceivers. Includes software-configurable FEC for every SFP channel.	
		OTR16_I3	<ul style="list-style-type: none"> ○ Range: 2 km ○ Wavelength: 1310 nm
		OTR16_S3	<ul style="list-style-type: none"> ○ Range: 15 km ○ Wavelength: 1310 nm
		OTR16_L3	<ul style="list-style-type: none"> ○ Range: 40 km ○ Wavelength: 1310 nm
		OTR16_L5	<ul style="list-style-type: none"> ○ Range: 80 km ○ Wavelength: 1550 nm

SFP Reference Tables

The following tables list the most commonly used transceivers, organized by type and capability.

Table 7-13: STM-1 SFP reference table

Transceivers	Inserted into modules	Used in cards	Description
OTR1_S3	OMS01_4	SIO1&4 XIO192	SFP STM-1 transceiver Short haul, Range 15 km Wavelength: 1310 nm (1261-1360 nm)
	OMCM25_4	CMTR25	
	SAM1_4O OSCI_2	MXC100	
	---	SIO1&4B M1_16SFP (CCP) MXC50 SIM1_4O SIM1_8 CTRP25_2C	
OTR1_L3	OMS01_4	SIO1&4 XIO192	SFP STM-1 transceiver Long haul, Range 40 km Wavelength: 1310 nm (1263-1360 nm)
	OMCM25_4	CMTR25	
	SAM1_4O OSCI_2	MXC100	
	---	SIO1&4B M1_16SFP (CCP) MXC50 SIM1_4O SIM1_8 CTRP25_2C	
OTR1_L5	OMS01_4	SIO1&4 XIO192	SFP STM-1 transceiver Extra haul, Range 80 km Wavelength: 1550 nm (1480-1580 nm)
	OMCM25_4	CMTR25	
	SAM1_4O	MXC100	
	---	SIO1&4B M1_16SFP (CCP) MXC50 SIM1_4O SIM1_8 CTRP25_2C	

Table 7-14: STM-4 SFP reference table

Transceivers	Inserted into modules	Used in cards	Description
OTR4_S3	OMS04_1	SIO1&4 XIO192	SFP STM-4 transceiver Short haul, Range 15 km Wavelength: 1310 nm (1261-1360 nm)
	OMCM25_4	CMTR25	
	SAM4_2	MXC100	
	---	SIO1&4B MXC40 SIM4_2 SIM4_4 CTRP25_2C	
OTR4_L3	OMS04_1	SIO1&4 XIO192	SFP STM-4 transceiver Long haul, Range 40 km Wavelength: 1310 nm (1280-1335 nm)
	OMCM25_4	CMTR25	
	SAM4_2	MXC100	
	---	SIO1&4B MXC40 SIM4_2 SIM4_4 CTRP25_2C	
OTR4_L5	OMS04_1	SIO1&4 XIO192	SFP STM-4 transceiver Extra haul, Range 80 km Wavelength: 1550 nm (1480-1580 nm)
	OMCM25_4	CMTR25	
	SAM4_2	MXC100	
	---	SIO1&4B MXC40 SIM4_2 SIM4_4 CTRP25_2C	
OTR4_S3BD	SAM4_2	MXC100	SFP STM-4 transceiver Short haul, Range 15 km Bidirectional Wavelength: Tx 1310 nm (1261-1360 nm) Rx 1550 nm (1480-1580 nm) <i>Must operate opposite OTR4_S5BD</i>
	---	SIM4_2 SIM4_4 CTRP25_2C	
OTR4_S5BD	SAM4_2	MXC100	SFP STM-4 transceiver Short haul, Range 15 km Bidirectional Wavelength: Tx 1550 nm (1480-1580 nm) Rx 1310 nm (1261-1360 nm) <i>Must operate opposite OTR4_S3BD</i>
	---	SIM4_2 SIM4_4 CTRP25_2C	

Table 7-15: STM-16/OTU1/FC2 SFP reference table

Transceivers	Inserted into modules	Used in cards	Description
OTR16_I3	OM16_1SFP	SIO16_1/M XIO192	SFP STM-16/OTU1/2GFC transceiver Intra-office, Range 2 km Wavelength: 1310 nm (1285-1330 nm)
	OMSC16_4	SIO164 XIO384F CMBR_10(B)	
	OMTR27	TRP25_4 TRP25_4B	
	OMCM25_4 OMTR27_2	CMTR25	
	SAM16_1	MXC100	
	---	AoC SIM16_1 SAM16_4 CTRP25_2C SIO16_2B SIO16_4B	
OTR16_S3	OM16_1SFP	SIO16_1/M XIO192	SFP STM-16/OTU1/2GFC transceiver Short haul, Range 15 km Wavelength: 1310 nm (1260-1360 nm)
	OMSC16_4	SIO164 XIO384F CMBR_10(B)	
	OMTR27	TRP25_4 TRP25_4B	
	OMCM25_4 OMTR27_2	CMTR25	
	SAM16_1	MXC100	
	---	AoC SIM16_1 SAM16_4 CTRP25_2C SIO16_2B SIO16_4B	

OTR16_L3	OM16_1SFP	SIO16_1/M XIO192	SFP STM-16/OTU1/2GFC transceiver Long haul, Range 40 km Wavelength: 1310 nm (1280-1335 nm)
	OMSC16_4	SIO164 XIO384F CMBR_10(B)	
	OMTR27	TRP25_4	
	OMCM25_4 OMTR27_2	CMTR25	
	SAM16_1	MXC100	
	---	AoC SIM16_1 SAM16_4 CTRP25_2C SIO16_2B SIO16_4B	
Transceivers	Inserted into modules	Used in cards	Description
OTR16_L5	OM16_1SFP	SIO16_1/M XIO192	SFP STM-16/OTU1/2GFC transceiver Extra haul, Range 80 km Wavelength: 1550 nm (1500-1580 nm)
	OMSC16_4	SIO164 XIO384F CMBR_10(B)	
	OMTR27	TRP25_4	
	OMCM25_4 OMTR27_2	CMTR25	
	SAM16_1	MXC100	
	---	AoC SIM16_1 SAM16_4 CTRP25_2C SIO16_2B SIO16_4B	

SDH/SONET Interfaces

STM-1/OC-3 (155.52 Mbps \pm 4.6 ppm) I/O Modules

SFP TRANSCEIVER NAME	OTR1_S3	OTR1_S3BD ⁽³⁾	OTR1_S5BD ⁽³⁾	OTR1_L3	OTR1_L5
APPLICATION CODE ⁽¹⁾	S-1.1			L-1.1	L-1.2
Operating wavelength (nm)	1261-1360	Tx: 1260-1360 Rx: 1480-1580	Tx: 1480-1580 Rx: 1260-1360	1263-1360	1480-1580
Source type	MLM ⁽²⁾	SLM	SLM	SLM	SLM
Max. RMS width (nm)	7.7	-	-	-	-
Min. side mode suppression ratio (dB)	-	-	-	30	30
Min. mean launched power (dBm)	-15	-14	-14	-5	-5
Max. mean launched power (dBm)	-8	-8	-8	0	0
Min. extinction ratio (dB)	8.2	10	10	10	10
Min. sensitivity (BER of 1×10^{-12}) EOL dBm)	-28	-28	-28	-34	-34
Min. overload (dBm)	-8	-8	-8	-10	-10
Max. receiver reflectance (dB)	-	-	-	-	-25
Max. dispersion [ps/nm]	96			-	-
Min. optical return loss of cable (dB)	-	-	-	-	-20
Max. discrete reflectance (dB)	-	-	-	-	-25
Max. optical path penalty (dB)	1	1	1	1	1

(1) Application code is in reference to ITU-T Recommendation G.691.

(2) MLM source type laser can also operate with single mode fibers for S-1.1 interfaces in reference to ITU-T Recommendation G.957.

(3) The OTR1_S3BD can only operate opposite the OTR1_S5BD, and vice versa. Total link budget is according to OTR1_S3BD parameters.

STM-4/OC-12 (622 Mbps \pm 4.6 ppm) I/O Modules

SFP TRANSCEIVER NAME	OTR4_S3	OTR4_L3	OTR4_L5
APPLICATION CODE ⁽¹⁾	S-4.1	L-4.1	L-4.2
Operating wavelength (nm)	1274-1356	1280-1335	1480-1580
TRANSMITTER			
Source type	MLM ⁽²⁾	SLM	SLM
Max. RMS width (nm)	4/2.5	-	-
Max. -20 dB width (nm)	-	1	<1
Min. side mode suppression ratio (dB)	-	30	30
Min. mean launched power (dBm)	-15	-3	-3
Max. mean launched power (dBm)	-8	+2	+2
Min. extinction ratio (dB)	8.2	10	10
RECEIVER			
Min. sensitivity (BER of 1×10^{-12}) EOL (dBm)	-28	-28	-28
Min. overload (dBm)	-8	-8	-8
Max. receiver reflectance (dB)	-	-14	-27
OPTICAL PATH BETWEEN S & R			
Max. dispersion [ps/nm]	74	-	-
Min. optical return loss of cable (dB)	-	20	24
Max. discrete reflectance (dB)	-	-25	-27
Max. optical path penalty (dB)	1	1	1

(1) Application code is in reference to ITU-T Recommendation G.691.

(2) MLM source type laser can also operate with single mode fibers for S-1.1 interfaces in reference to ITU-T Recommendation G.957.

STM-16/OC-48 (2488.32 Mbps \pm 4.6 ppm) I/O Modules

SFP TRANSCEIVER NAME	OTR16_I3	OTR16_S3	OTR16_L3	OTR16_L5	OTR16_DW35
APPLICATION CODE ⁽¹⁾	I-16	S-16.1	L-16.1	L-16.2	V-16.2
Operating wavelength (nm)	1260-1360	1260-1360	1280-1335	1500-1580	1549.32
TRANSMITTER					
Source type	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Max. -20 dB width (nm)	2	1	1	<1	0.4
Max. RMS width (nm)	-	-	-	-	-
Min. side mode suppression (dB)	-	30	30	30	30
Min. mean launched power (dBm)	-10	-5	-2	-2	0
Max. mean launched power (dBm)	-3	0	+3	+3	4
Min. extinction ratio (dB)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
RECEIVER					
Min. sensitivity (BER of 1×10^{-12}) EOL (dBm)	-16	-18	-27	-28	-28
Min. overload (dBm)	0	0	-9	-9	-9
Max. receiver reflectance (dB)	-27	-27	-27	-27	-27
OPTICAL PATH BETWEEN S & R					
Max. dispersion [ps/nm]	-	-	-	1600	2160
Min. optical return loss of cable (dB)	-24	-24	-24	-24	-24
Max. discrete reflectance (dB)	-27	-27	-27	-27	-27
Max. optical path penalty dB)	<1	1	1	2	3

(1) Application code is in reference to ITU-T Recommendation G.691.